

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-130781

(43)Date of publication of application : 08.05.2003

(51)Int.Cl. G01N 13/14
G11B 7/09
G11B 7/135
G12B 21/02

(21)Application number : 2001-327651

(71)Applicant : RICOH CO LTD
KANAGAWA ACAD OF SCI & TECHNOL

(22)Date of filing : 25.10.2001

(72)Inventor : TAKAHASHI JUNICHI
MIFUNE HIROYASU
OTSU GENICHI
KOROGI MOTONOBU
YATSUI TAKASHI

(30)Priority

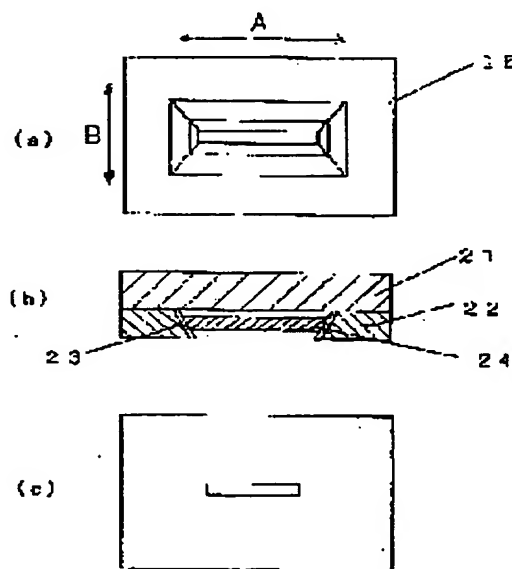
Priority number : 2001243692 Priority date : 10.08.2001 Priority country : JP

(54) OPTICAL PROBE AND OPTICAL PICKUP APPARATUS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide both an optical probe with high accuracy and reproducibility having a hardly damageable micro aperture and capable of forming a small spot in the direction in parallel with the polarizing direction of incident light by interference between modes and the shape of the aperture, and implementing high efficiency and high-speed tracking operation, and to provide an optical pickup apparatus capable of easily achieving lightness in weight and compactness and highly accurate tracking control.

SOLUTION: The optical probe comprises a rectangular light incident aperture, a rectangular light emergent aperture for condensing light incident from the light incident aperture and making it emergent, a guide wall formed in such a way that the cross section of a surface which intersects with the light incident aperture at right angles gradually becomes small, and a light transmitting substrate joined to the side of the light incident aperture.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

4/5

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-130781

(P 2003-130781 A)

(43) 公開日 平成15年5月8日(2003.5.8)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テロト* (参考)
G 0 1 N 13/14		G 0 1 N 13/14	B 5D118
G 1 1 B 7/09		G 1 1 B 7/09	C 5D119
	7/135	7/135	A 5D789
G 1 2 B 21/02		G 1 2 B 1/00	6 0 1 A

審査請求 未請求 請求項の数31 O L (全 41 頁)

(21) 出願番号	特願2001-327651 (P2001-327651)	(71) 出願人	000006747 株式会社リコー 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
(22) 出願日	平成13年10月25日 (2001. 10. 25)	(71) 出願人	591243103 財団法人神奈川科学技術アカデミー 神奈川県川崎市高津区坂戸3丁目2番1号
(31) 優先権主張番号	特願2001-243692 (P 2001-243692)	(72) 発明者	高橋 淳一 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会 社リコー内
(32) 優先日	平成13年8月10日 (2001. 8. 10)	(74) 代理人	100093920 弁理士 小島 俊郎
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

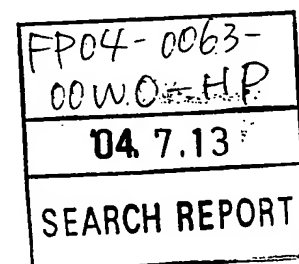
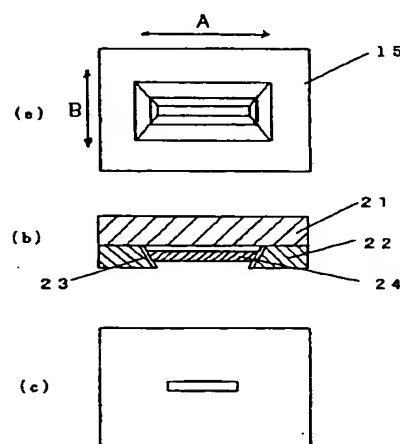
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光プローブ及び光ピックアップ装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、開口が破損しにくく、高い精度と再現性で微小な開口を有すると共に、モード間干渉と開口径形状により、入射光の偏光方向と平行な方向についての小スポット化と、更なる高効率化を実現でき、高速なトラッキング動作を可能にする光プローブと、軽量化及び小型化が容易に実現でき、精度の高いトラッキング制御ができる光ピックアップ装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 本発明の光プローブは、長方形の開口となされた光入射開口と、光入射開口から入射された光を集光して出射する長方形の光出射開口と、光入射開口と直交する面の断面が次第に小となるように形成されたガイド壁と、光入射開口側に接合した透光性基板とを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 長方形の開口となされた光入射開口と、該光入射開口から入射された光を集光して出射する長方形の光出射開口と、前記光入射開口と直交する面の断面が次第に小となるように形成されたガイド壁と、前記光入射開口側に接合した透光性基板とを有することを特徴とする光プローブ。

【請求項2】 前記入射された光を前記光出射開口上に集光する対物レンズを、前記透光性基板に形成した請求項1記載の光プローブ。

【請求項3】 長方形の開口となされた光入射開口と、該光入射開口から入射された光を集光して出射する長方形の光出射開口と、前記光入射開口と直交する面の断面が次第に小となるように形成されたガイド壁とを有することを特徴とする光プローブ。

【請求項4】 前記光出射開口には、複数の遮光材を長辺方向に略等間隔で複数個配設して複数の開口を形成してスリット状となされている請求項1～3のいずれかに記載の光プローブ。

【請求項5】 光透過性を有する基板と、該基板上に形成されてなる突起部とを備え、前記突起部は外壁に単数又は複数のテーパ角度を有し、前記突起部の頂点部が細長形状であることを特徴とする光プローブ。

【請求項6】 前記突起部は光透過性材料により構成される請求項5記載の光プローブ。

【請求項7】 前記突起部は高屈折率材料により構成される請求項5記載の光プローブ。

【請求項8】 前記光透過性材料により構成され、前記入射された光を前記突起部の前記頂点部に集光する対物レンズを、前記基板に形成した請求項5～7のいずれかに記載の光プローブ。

【請求項9】 高屈折率材料により構成される基板と、該基板上に形成されてなる突起部とを備え、前記突起部は外壁に単数又は複数のテーパ角度を有し、前記突起部の頂点部が細長形状であることを特徴とする光プローブ。

【請求項10】 前記突起部は高屈折率材料により構成される請求項9記載の光プローブ。

【請求項11】 前記高屈折率材料により構成され、前記入射された光を前記突起部の前記頂点部に集光する対物レンズを、前記基板に形成した請求項9又は10に記載の光プローブ。

【請求項12】 前記突起部の前記頂点部の開口には、複数の遮光材を長辺方向に略等間隔で複数個配設して複数の開口を形成してスリット状となされている請求項5～11のいずれかに記載の光プローブ。

【請求項13】 入射された光の偏向を、前記光出射開口の短辺方向に、又は前記突起部の前記頂点部の短辺方向に、平行な直線偏光とするとともに、前記光入射開口から前記光出射開口までの入射された光

が集光される部分の屈折率を、又は前記突起部分の屈折率を n とし、入射された光の真空中での波長を λ とし、前記光出射開口の短辺又は前記突起部の前記頂点部の短辺の長さを a とし、前記光出射開口の長辺又は前記突起部の前記頂点部の長辺の長さを b としたときに、 $a \geq \lambda / 2n$ かつ $b < \lambda / 2n$ の条件を満たす請求項1～7のいずれかに記載の光プローブ。

【請求項14】 長方形の開口となされた光入射開口と、該光入射開口から入射された光を集光して出射する長方形の光出射開口と、前記光入射開口と直交する面の断面が次第に小となるように形成されたガイド壁と、前記光入射開口側に接合した透光性基板とを有する光プローブと、前記光出射開口の長辺方向に、前記入射された光を走査する光走査手段とを有することを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項15】 前記光走査手段によって走査された光を前記光出射開口上に集光する対物レンズを、前記透光性基板に形成した請求項14記載の光ピックアップ装置。

【請求項16】 長方形の開口となされた光入射開口と、該光入射開口から入射された光を集光して出射する長方形の光出射開口と、前記光入射開口と直交する面の断面が次第に小となるように形成されたガイド壁とを有する光プローブと、前記光出射開口の長辺方向に、前記入射された光を走査する光走査手段とを有することを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項17】 前記光出射開口には、複数の遮光材を長辺方向に略等間隔で複数個配設して複数の開口を形成してスリット状となされている請求項14～16のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項18】 光透過性を有する基板と、該基板上に形成されてなる突起部とを備え、前記突起部は外壁に単数又は複数のテーパ角度を有し、前記突起部の頂点部が細長形状である光プローブと、前記基板からの光を入射するとともに、前記頂点部の長辺方向に入射された光を走査する光走査手段とを有し、前記突起部は、前記基板からの光を入射して、先端部分で近接場光、伝搬光、或いは近接場光及び伝搬光の両方を発生させることを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項19】 前記光走査手段によって走査された光を前記突起部の頂点部に集光する対物レンズを、前記基板に形成した請求項18記載の光ピックアップ装置。

【請求項20】 前記突起部の前記頂点部の開口には、複数の遮光材を長辺方向に略等間隔で複数個配設して複数の開口を形成してスリット状となされている請求項18又は19に記載の光ピックアップ装置。

【請求項21】 前記光走査手段として、振動鏡を用いた請求項14～20のいずれかに記載の光ピックアップ

装置。

【請求項22】 前記光走査手段として、回転多面鏡を用いた請求項14～20のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項23】 前記光走査手段として、音響光学偏向器を用いた請求項14～20のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項24】 前記光走査手段として、電気光学偏向器を用いた請求項14～20のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項25】 前記電気光学偏向器が立方体の電気光学結晶で構成され、光が透過する方向と平行な前記電気光学結晶の面に電極が形成され、前記電極の幅が光が透過する方向に関して変化する形状に形成されている請求項24記載の光ピックアップ装置。

【請求項26】 前記電気光学偏向器がドメイン反転型の電気光学結晶である請求項24記載の光ピックアップ装置。

【請求項27】 前記電気光学結晶としてLN (LiNbO₃) 結晶を用い、該LN結晶の光学軸に平行に前記LN結晶に電界がかかるように前記電極と結晶の形状を定めるとともに、光を前記光学軸と平行な方向の直線偏光とした請求項25又は26に記載の光ピックアップ装置。

【請求項28】 アーム先端に設けられた微小開口を有する光プローブと、該光プローブを介して記録媒体に光を照射するための光源を持つ光学系と、該光学系からの光を走査する偏向器と、該偏向器によって走査された光を前記光プローブに集光する集光手段とを、前記アームに搭載したことを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項29】 アーム先端に設けられた微小開口を有する光プローブと、該光プローブを介して記録媒体に光を照射するための光源を持つ光学系と、該光学系からの光を走査する偏向器とを、前記アームに搭載するとともに、前記偏向器によって走査された光を前記光プローブに集光する集光手段を光プローブ上に搭載したことを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項30】 アーム先端に設けられた微小開口を有する光プローブと、該光プローブを介して記録媒体に光を照射するための光源を持つ光学系と、該光学系からの光を走査する偏向器と、該偏向器によって走査された光を集光する第1の集光手段と、を前記アームに搭載するとともに、前記第1の集光手段によって集光された光を前記光プローブに集光する第2の集光手段を前記光プローブ上に搭載したことを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項31】 前記入射された光の偏向を、前記光出射開口の短辺方向に、又は前記突起部の前記頂点部の短辺方向に、平行な直線偏光とするとともに、前記光入射開口から光出射開口までの入射された光が集光される部分の屈折率を、又は前記突起部分の屈折率を

nとし、入射された光の真空中での波長を λ とし、前記光出射開口の短辺又は前記突起部の前記頂点部の短辺の長さをaとし、前記光出射開口の長辺又は前記突起部の前記頂点部の長辺の長さをbとしたときに、 $a \geq \lambda/2n$ かつ $b < \lambda/2n$ の条件を満たす請求項14～30のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光プローブ及び光ピックアップ装置に関し、特に記録媒体に近接して配設され光を照射する光プローブと、当該光プローブを用いて記録媒体に記録された信号を再生する光ピックアップ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近接場における光プローブを用い、記録媒体に記録された信号の記録再生装置では、光プローブの全面に光を照射して光プローブの光出射開口からの光を記録媒体上のビット毎に照射していた。このような従来の近接場における光プローブが従来よりいくつか提案されている。その一つとして、特開2000-171380号公報（以下従来例1と称す）は、長方形の開口となされた光入射開口と、光入射開口から入射された光を集光して出射する光出射開口と、光入射開口と直交する面の断面が次第に小となるように形成されたガイド壁とを有し、光出射開口は一次的であって長方形の開口に複数の遮光材を長辺方向に略等間隔で複数個配設することで複数の開口を形成してスリット上とした光プローブが提案されている。

【0003】また、特願2001-044611号（以下従来例2と称す）のプローブでは、従来例2の構成を示す図72からわかるように、テーパ状穴の底面の開口形状が、例えば長円形状、長方形等のいわゆる細長形状をしている。このような開口を形成する膜または基板の上に、マイクロレンズを形成した基板を設ける。記録媒体の移動方向と短辺の方向が一致するようにしてもよいし、またはこの逆でもよく、斜めにしてもよい。

【0004】更に、図73に示す従来例2の別の構成を有するプローブでは、プローブが突起形状になって、その突起部の頂点部形状が長方形とされている。このような突起部を形成する膜または基板の上にマイクロレンズを形成した基板を設ける。記録媒体の移動方向と短辺の方向が一致するようにしてもよいし、またはこの逆でもよく、斜めにしてもよい。これらの従来例では、光学系からコリメートされた光が照射され、スライダ上のマイクロレンズによりプローブ上に集光されている。これにより、プローブに光学系から直接集光するよりも両者間の位置合わせや追従をラフにしても問題がない。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来例1では、光出射開口側長方形形状の短辺の寸法は数十n

mにしなければいけない。従来例1の公報では特に作製方法については述べられていないが、作製方法としては図74~77に示す作製工程が考えられる。図74に示す作製工程では、先ず異方性エッチングにより逆ピラミッド状の穴を設け、その後裏面からのエッチングにより開口を開ける。この場合、裏面からのエッチング深さにより開口寸法が決まる。開口寸法が数十nmになるように裏面のエッチングを止める手段として、エッチング速度を予め測定し、それからエッチング時間を決めて行うことが考えられる。しかし、シリコン基板の厚みは、基板間で数十μm程度はばらついている。また、エッチングスピードも、エッチング液中に溶解したシリコンの量やエッチング液に与えらる酸素の量、微妙な温度などにより、大きく変化する。従って、予め測定したエッチングスピードと基板厚みから数十nmの開口寸法が形成されるようにエッチングを停止することは現実には非常に困難である。

【0006】また、図75示す作製工程のように、SOI基板を用いて、埋設されているSiO₂膜を裏面からのエッチングストップ膜として、用いることにより、再現性良く所望の(50nm程度)を得られる。また、小さい開口ができる面の周囲に厚い縁ができるため、このままだと記録媒体に数十nmの距離まで開口を近づけることができない。そこで、縁を除去するのであるが、この時の開口を有する部分の厚みは10μm程度であるので、縁を除去する際、あるいは除去した後、非常に破損しやすくなる。これを克服するために、図76あるいは図77のように、一旦、シリコン基板の開口を設ける部分の厚みを薄くして(図76の(c)及び図77の(c)参照)、エッチングを行った底に開口を設けるエッチングを行うための酸化シリコンのパターンを形成し(図76の(e)及び図77の(e)参照)、異方性エッチングにより開口を設ける(図76の(f)及び図77の

(f)参照)方法も考えられる。しかし、この場合、図76の(e)及び図77の(e)でフォトリソを塗布する場合に、周囲の縁の部部との段差が数百μmあるので、均一にフォトリソが塗布できず、酸化シリコンのパターを精度良く形成できない。

【0007】更に、従来例2は、従来例1に透光性基板とマイクロレンズを組み合わせたものであり、長方形開口の長手方向に光を走査することがないので、並列的に記録再生を行うことによる高速化やトラッキング動作を行うことができない。

【0008】本発明はこれらの問題点を解決するためのものであり、開口が破損しにくく、高い精度と再現性で微小な開口を有すると共に、モード間干渉と開口径形状により、入射光の偏光方向と平行な方向についての小スポット化と、更なる高効率化を実現でき、高速なトラッキング動作を可能にする光プローブと、軽量化及び小型化が容易に実現でき、精度の高いトラッキング制御がで

きる光ピックアップ装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】前記問題点を解決するために、本発明の光プローブは、長方形の開口となされた光入射開口と、光入射開口から入射された光を集光して出射する長方形の光出射開口と、光入射開口と直交する面の断面が次第に小となるように形成されたガイド壁と、光入射開口側に接合した透光性基板とを有する。よって、開口が破損しにくく、高い精度と再現性で微小な開口を有する光プローブを提供できる。

【0010】また、入射された光を光出射開口上に集光する対物レンズを、透光性基板に形成することにより、非常に歩留まりが向上すると共に、高い光利用効率、軽量化、小型化が可能となる。

【0011】更に、別の発明の光プローブは、長方形の開口となされた光入射開口と、光入射開口から入射された光を集光して出射する長方形の光出射開口と、光入射開口と直交する面の断面が次第に小となるように形成されたガイド壁とを有する。よって、構造がより一層簡易なものとなる。

【0012】また、光出射開口には、複数の遮光材を長辺方向に略等間隔で複数個配設して複数の開口を形成してスリット状となされていることにより、軽量化及び小型化が容易に実現でき、精度の高いトラッキング制御ができ高い光効率が実現できると共に、開口が破損しにくく、高い精度と再現性で微小な開口を作製することができる光プローブを提供できる。

【0013】更に、別の発明としての光プローブは、光透過性を有する基板と、基板上に形成されてなる突起部とを備え、突起部は外壁に単数又は複数のテーパ角度を有し、突起部の頂点部が細長形状である。よって、モード間干渉と開口径形状により、入射光の偏光方向と平行な方向についての小スポット化と、更なる高効率化を実現でき、高速なトラッキング動作を可能にする光プローブを提供できる。なお、突起部は光透過性材料又は高屈折率材料により構成されることが好ましく、ガラス-高屈折率材料の界面での反射による光利用効率の低下を防ぎ、更に光利用効率を向上することができる。

【0014】また、入射された光を突起部の頂点部に集光する対物レンズを、基板に形成したことにより、非常に歩留まりが向上すると共に、高い光利用効率、軽量化、小型化が可能となる。なお、対物レンズは光透過性材料又は高屈折率材料により構成されることが好ましい。

【0015】また、突起部の頂点部の開口には、複数の遮光材を長辺方向に略等間隔で複数個配設して複数の開口を形成してスリット状となされている。よって、軽量化及び小型化が容易に実現でき、精度の高いトラッキング制御ができ高い光効率が実現できると共に、開口が破損しにくく、高い精度と再現性で微小な開口を作製する

ことができる光プローブを提供できる。

【0016】更に、入射された光の偏向を、光出射開口の短辺方向に、又は突起部の頂点部の短辺方向に、平行な直線偏光とするとともに、光入射開口から光出射開口までの入射された光が集光される部分の屈折率を、又は突起部分の屈折率を n とし、入射された光の真空中での波長を λ とし、光出射開口の短辺又は突起部の頂点部の短辺の長さを a とし、光出射開口の長辺又は突起部の頂点部の長辺の長さを b としたときに、 $a \geq \lambda/2n$ かつ $b < \lambda/2n$ の条件を満たすことが好ましい。

【0017】また、別の発明としての光ピックアップ装置は、長方形の開口となされた光入射開口と、光入射開口から入射された光を集光して出射する長方形の光出射開口と、光入射開口と直交する面の断面が次第に小となるように形成されたガイド壁と、光入射開口側に接合した透光性基板とを有する光プローブと、光出射開口の長辺方向に、入射された光を走査する光走査手段とを有する。よって、精度の高いトラッキング制御ができる光ピックアップ装置を提供できる。

【0018】更に、光走査手段によって走査された光を光出射開口上に集光する対物レンズを、透光性基板に形成したことにより、非常に歩留まりが向上すると共に、高い光利用効率、軽量化、小型化が可能となる。

【0019】また、別の発明としての光ピックアップ装置は、長方形の開口となされた光入射開口と、光入射開口から入射された光を集光して出射する長方形の光出射開口と、光入射開口と直交する面の断面が次第に小となるように形成されたガイド壁とを有する光プローブと、光出射開口の長辺方向に、入射された光を走査する光走査手段とを有する。よって、精度の高いトラッキング制御ができる光ピックアップ装置を提供できる。

【0020】更に、光出射開口には、複数の遮光材を長辺方向に略等間隔で複数個配設して複数の開口を形成してスリット状となされていることにより、軽量化及び小型化が容易に実現でき、精度の高いトラッキング制御ができ高い光効率が実現できる。

【0021】また、別の発明としての光ピックアップ装置は、光透過性を有する基板と、基板上に形成されてなる突起部とを備え、突起部は外壁に単数又は複数のテーパー角度を有し、突起部の頂点部が細長形状である光プローブと、基板からの光を入射するとともに、頂点部の長辺方向に入射された光を走査する光走査手段とを有し、突起部は、基板からの光を入射して、先端部分で近接場光、伝搬光、或いは近接場光及び伝搬光の両方を発生させる。よって、モード間干渉と開口径形状により、入射光の偏光方向と平行な方向についての小スポット化と、更なる高効率化を実現でき、高速なトラッキング動作を可能にする光ピックアップ装置を提供できる。

【0022】更に、光走査手段によって走査された光を突起部の頂点部に集光する対物レンズを基板に形成した

ことにより、非常に歩留まりが向上すると共に、高い光利用効率、軽量化、小型化が可能となる。

【0023】更に、突起部の前記頂点部の開口には、複数の遮光材を長辺方向に略等間隔で複数個配設して複数の開口を形成してスリット状となされていることにより、よって、軽量化及び小型化が容易に実現でき、精度の高いトラッキング制御ができ高い光効率が実現できる光ピックアップ装置を提供できる。

【0024】また、上記光走査手段として、振動鏡、回転多面鏡、音響光学偏向器又は電気光学偏向器を用いることが好ましい。

【0025】更に、上記電気光学偏向器が立方体の電気光学結晶で構成され、光が透過する方向と平行な電気光学結晶の面に電極が形成され、電極の幅が光が透過する方向に関して変化する形状に形成されていることにより、簡単な構造で記録再生速度を向上できる。

【0026】また、上記電気光学偏向器がドメイン反転型の電気光学結晶であることにより、簡単な構造で記録再生速度を向上できる。

【0027】更に、上記電気光学結晶としてLN (LiNbO₃) 結晶を用い、LN結晶の光学軸に平行にLN結晶に電界がかかるように電極と結晶の形状を定めるとともに、光を光学軸と平行な方向の直線偏光としたことにより、電気光学偏向器の動作を効率良く、つまり電源の電圧、消費電力をより一層低くすることができる。

【0028】また、別の発明としての光ピックアップ装置は、アーム先端に設けられた微小開口を有する光プローブと、光プローブを介して記録媒体に光を照射するための光源を持つ光学系と、光学系からの光を走査する偏向器と、偏向器によって走査された光を光プローブに集光する集光手段とを、アームに搭載した。よって、偏向器と光プローブをアライメントするアクチュエータや制御系を不要とし、装置全体の小型化や簡素化を図ることができる。

【0029】更に、別の発明としての光ピックアップ装置は、アーム先端に設けられた微小開口を有する光プローブと、光プローブを介して記録媒体に光を照射するための光源を持つ光学系と、光学系からの光を走査する偏向器とを、アームに搭載するとともに、偏向器によって走査された光を光プローブに集光する集光手段を光プローブ上に搭載した。よって、偏向器と光プローブをアライメントするアクチュエータや制御系を不要とし、装置全体の小型化や簡素化を図ることができる。

【0030】また、別の発明としての光ピックアップ装置は、アーム先端に設けられた微小開口を有する光プローブと、光プローブを介して記録媒体に光を照射するための光源を持つ光学系と、光学系からの光を走査する偏向器と、偏向器によって走査された光を集光する第1の集光手段と、をアームに搭載するとともに、第1の集光手段によって集光された光を光プローブに集光する第2

の集光手段を光プローブ上に搭載した。よって、偏向器と光プローブをアライメントするアクチュエータや制御系を不要とし、装置全体の小型化や簡素化を図ると共に、更なる光利用効率の向上を図ることができる。

【0031】更に、入射された光の偏向を、光出射開口の短辺方向に、又は突起部の頂点部の短辺方向に、平行な直線偏光とするとともに、光入射開口から光出射開口までの入射された光が集光される部分の屈折率を、又は突起部分の屈折率を n とし、入射された光の真空中での波長を λ とし、光出射開口の短辺又は突起部の頂点部の短辺の長さを a とし、光出射開口の長辺又は突起部の頂点部の長辺の長さを b としたときに、 $a \geq \lambda / 2n$ かつ $b < \lambda / 2n$ の条件を満たすことが好ましい。

【0032】

【発明の実施の形態】本発明の光プローブは、長方形形状の開口となされた光入射開口と、光入射開口から入射された光を集光して出射する長方形形状の光出射開口と、光入射開口と直交する面の断面が次第に小となるように形成されたガイド壁と、光入射開口側に接合した透光性基板とを有する。

【0033】

【実施例】図1は本発明の第1の実施例に係る光プローブを有する近接場光プローブ・スライダ搭載の光ピックアップ装置の構成を示す概略図である。同図において、レーザダイオード（以下LDと略す）11から出射したレーザ光はコリメートレンズ12で平行光になり、ビームスプリッタ（以下BSと略す）13で直角に反射され、ガルバノミラー14でさらに反射される。ガルバノミラー14は振動することによりレーザ光を反射させる方向を変える。反射された光は近接場光プローブ・スライダ15の光入射開口16を通り、光出射開口17に向かう。光出射開口17の長辺の寸法はレーザ光の波長以上であり、短辺寸法は数十nmの波長以下となっている。光入射開口16と光出射開口17の間でモード間干渉が生じる。このモード間干渉効果を利用することで、小スポット化と高効率化とが同時に達成されている。しかし、そのビームスポットの形状は楕円形状となってしまう。すなわち、入射光の偏光方向と垂直な方向に対しては、ビームスポット径が小さくなり、回折限界を超えた高分解能化が達成可能であるが、入射光の偏光方向と平行な方向に対しては、ビームスポット径が半波長程度までにしか小さくならず、高分解能化が困難であった。しかし、本実施例では、小スポット化が困難であった入射光の偏光方向と平行な方向、光出射開口の短辺方向に対しては、開口形状によって光が閉じ込められることになる。また、短辺に対して平行に入射する光に対してはカットオフが存在しない。これにより、入射光の偏光方向と平行な方向に対してもビームスポットの小スポット化を実現し、一層の高分解能化と高効率化とを実現することができる。このような光出射開口の形状として具体的

には、長辺の長さ a が、 $a \geq \lambda / 2n$ の範囲、すなわち、長辺の長さ a は、最低次モードのカットオフ径（ $\lambda / 2n$ ）以上であることが必要である。また、短辺の長さ b は、 $a > b$ を満たすことが必要である。具体的には、コアが空気（屈折率 $n=1$ ）からなる開口において、波長 λ を780nm、 $a > 390$ nmとなる。なお、最低次モードのカットオフ径（ $\lambda / 2n$ ）以上となるように長辺の長さ a を設定すれば、 b はいくらでも小さくしても構わない。また、ガラス基板と突起との間にかつ繋ぎ目がないので、境界面における反射がなく、光利用効率が高くなる。

【0034】本実施例の構成の第1の使用法として、トラッキングエラー検出とトラッキングアクチュエーションが挙げられる。記録メディア上には各トラックにトラックを案内する案内溝としてのランドグループが存在する。書き込みができないROMタイプの場合はこの限りではない。図1のガルバノミラー14によりトラック幅より小さい幅で出射光の位置が振れるように、いわゆるビームウォプリング動作をさせる。ランド（或いはグループ）に出射光が当たるタイミングと、その時の、PD18で検出する反射光の強度からウォプリングする出射光振れ幅の中心位置とトラック中心位置とのずれを検出できる。いわゆるトラックエラー検出を行うことができる。この値から図示しないPDからガルバノミラー14への制御回路により、出射光振れ幅の中心位置とトラック中心位置を一致させるようにガルバノミラー14を制御することができる。

【0035】本実施例の構成の第2の使用法としては、高速記録・再生を目的とするものがある。本実施例の近接場光プローブ・スライダは記録メディアとスライダ底面間のギャップを小さくするために接触スライディングをさせる場合がある。この場合、摩擦・摩耗の観点からすると記録メディアの回転速度は低い方がよい。ところがこれだと記録・再生速度が遅くなってしまう。そこで、ビームを振らせることにより複数トラックに記録或いは再生を行い、実質的記録再生速度を向上させることができる。本実施例では出射光の走査を行うシステムを提供できる。

【0036】図2は本発明の近接場光プローブ・スライダの一例の構成を示す図である。図2の(a)は近接場光プローブ・スライダを上面から見た図、図2の(b)は断面図、図2の(c)は近接場光プローブ・スライダの底面図を各々示す。同図において、ガラス基板21上にテーパ形状を持つ単結晶シリコン22が接合されている。傾斜部分には金属遮光膜23があり伝搬光が漏れないようになっている。光入射開口と光出射開口の間には効率を向上するためのシリンドリカルレンズの集光レンズ24がある。図2の近接場光プローブ・スライダを記録媒体上で使用する際の説明図である図3に示すように、サスペンション25を介して、近接場光プローブ・

スライダ15は記録媒体上に位置決めされる。光出射開口の長辺は複数トラックの長さを持っているので、上記のような動作を行うことができる。特に、トラッキング動作をする場合はせいぜい2トラック分の長辺方向の寸法があればよい。

【0037】図4は図2の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。まず、図4の(a)に示すように、厚み数百 μm の単結晶Si(シリコン)基板41上に約1 μm の SiO_2 (酸化シリコン)層42と約10 μm の単結晶Si層43が積層されている。所謂SOI基板を用いる。一番上には膜厚数百nmの SiO_2 層44がある。開口を作製したいところの SiO_2 層44をフォトリソ、エッチングにより除去する。除去する部分の寸法は開口の寸法が数十から数百nmになるように見込んで決める。次に、図4の(b)に示すように、単結晶Si層43をアルカリエッチングによりエッチングする。この時のエッチャントとしては、ヒドラジン($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、KOH、NaOH、CaOH、EDP(Ethylene Diamine Pyrocatechol(water))、TMAH(tetramethyl ammoniumhydroxide、 $(\text{CH}_3)_4\text{NOH}$)などの結晶軸異方性エッチャントを用いる。エッチャントの温度は50から80 $^\circ\text{C}$ ぐらいにする。これらのエッチャントは結晶軸異方性エッチャントであり、これにより(111)面に囲まれた逆ピラミッド状の穴形状ができる。先端部分がちょうど SiO_2 層になるようにすると、穴底面が正方形または長方形になる。この一辺が数十から数百nmになるように最初の SiO_2 のバターニング寸法を決めておく。そして、図4の(c)に示すように、最上層の SiO_2 層44を弗酸などで除去すると共に、シリンドリカル集光レンズ45を開口に設置する。そして、図4の(d)に示すように、ガラス47を単結晶Si層43の上に乗せ、単結晶Si基板41とガラス47に電極48、49を圧接させる。このガラス47としては例えば米国コーニング社製#7740を用いる。その厚みは0.1mmから3mmぐらいである。窒素ガス中あるいは真空中で350 $^\circ\text{C}$ に加熱した状態で、単結晶Si基板41側に正の300V程度の電圧Vbを10分程度印加する。このような方法によりガラス47は単結晶Si層43に接合される。単結晶Si基板41と単結晶Si層43の間には絶縁層である SiO_2 層42があるが、温度が高く、電圧も高いので、電流が突き抜けたり、漏れていたりして、接合に必要な電流が流れる。この接合方法を陽極接合という。次に、図4の(e)に示すように、接合された基板を再びアルカリエッチャントの中に入れる。単結晶Si基板41はアルカリエッチャントによりエッチングされる。例えばKOHはSi以外に SiO_2 (ガラスの主成分)もエッチングするが、ガラスは非常に厚いので、全てエッチングされることはない。また、単結晶Si層43とガラス47は非常に強固に接合されているので、両者間にエッチャントが侵入することはないので、単結晶Si層43がエッチングされることはない。

よって、単結晶Si基板41のみがエッチングされる。 SiO_2 はアルカリエッチャントに対するエッチングスピードがSiの1/100以下であるので、単結晶Si基板41がエッチングされきったところでエッチングを止めることができる。そして、図4の(f)に示すように、 SiO_2 を弗酸で除去することにより、微小開口が形成される。この後ダイシングソーで所望の大きさに切られる。また、シリンドリカル集光レンズ45を設置することが困難な場合は、本発明の第2の実施例に係る光プローブを有する近接場光プローブ・スライダ搭載の光ピックアップ装置の構成を示す図5のように、対物レンズ51をプローブ・スライダ外に置いても良い。

【0038】図6は本発明の第3の実施例に係る光プローブを有する近接場光プローブ・スライダ搭載の光ピックアップ装置の構成を示す概略図である。同図に示す光走査方法としてポリゴンミラー61を使っている以外は図1の第1の実施例の構成と同じである。図6において、出射光振れ幅の中心位置とトラック中心位置を一致させるには、図6中のトラッキングアクチュエーション方向にポリゴンミラー61を動かすことで可能となる。

【0039】本実施例の構成の使用方法としては、高速記録・再生を目的とするものがある。ビームを振らせることにより複数トラックに記録或いは再生を行い、実質的記録再生速度を向上させることができる。本実施例では出射光の走査を行うシステムを提供できる。また、シリンドリカルレンズの集光レンズを設置することが困難な場合は、図5のように対物レンズ51をプローブ・スライダ外に置いても良い。

【0040】図7は本発明の第4の実施例に係る光プローブを有する近接場光プローブ・スライダ搭載の光ピックアップ装置の構成を示す概略図である。同図に示す光走査方法としてAOモデュレータ71を使っている以外は図1の構成と同じである。AOモデュレータ71には図示しないが偏向方向を制御する交流電圧が接続されている。トラッキングエラー検出のためにビームをウォープリングするには、この交流電圧を必要な振れ幅に対応する周波数変動を持つ交流電圧とする。これによりトラッキングエラーを検出し、この値から前記交流電圧周波数変動の中心周波数を制御することにより、出射光振れ幅の中心位置とトラック中心位置を一致させるようにAOモデュレータ71を制御することができる。

【0041】本実施例の構成の使用方法としては、高速記録・再生を目的とするものがある。ビームを振らせることにより複数トラックに記録或いは再生を行い、実質的記録再生速度を向上させることができる。本実施例では出射光の走査を行うシステムを提供できる。また、シリンドリカルレンズの集光レンズを設置することが困難な場合は、図5のように対物レンズ51をプローブ・スライダ外に置いても良い。更に、AOモデュレータ71としては Ti:LiNbO_3 、 LiNbO_3 、 ZnO 等を用いることができ

る。

【0042】図8は本発明の第5の実施例に係る光プローブを有する近接場光プローブ・スライダ搭載の光ピックアップ装置の構成を示す概略図である。同図に示す光走査方法としてEOモデュレータ81を使っている以外は図1の構成と同じである。EOモデュレータ81には図示しないが偏向方向を制御する交流電圧が接続されている。トラッキングエラー検出のためにビームをウォブリングするには、この交流電圧を、必要な振れ幅に対応する振幅を持つ交流電圧とする。これによりトラッキングエラーを検出し、この値から上記交流電圧のバイアス値を制御することにより、出射光振れ幅の中心位置とトラック中心位置を一致させるようにEOモデュレータ81を制御することができる。

【0043】本実施例の構成の使用方法としては、高速記録・再生を目的とするものがある。ビームを振らせることにより複数トラックに記録或いは再生を行い、実質的記録再生速度を向上させることができる。本実施例では出射光の走査を行うシステムを提供できる。また、シリンドリカルレンズの集光レンズを設置することが困難な場合は、図5のように対物レンズ51をプローブ・スライダ外に置いて良い。更に、EOモデュレータ81としては Ti:LiNbO_3 、 LiTAO_3 等を用いることができる。

【0044】図9は本発明の近接場光プローブ・スライダの一例の構成を示す図である。図9の(a)は近接場光プローブ・スライダを上面から見た図、図9の(b)は断面図、図9の(c)は近接場光プローブ・スライダの底面図を各々示す。同図において、近接場光プローブ・スライダ91は、集光レンズからの光を例えば図1のガルバノミラー14から光を入射するように略長方形形状に開口した光入射開口16と、集光レンズからの光を出射するように開口した複数の光出射開口17とを備えている。そして、この近接場光プローブ・スライダ91は、光入射開口16と光出射開口17とを接続するとともに、光入射開口16と直交する面の断面が次第に小となるように形成された内壁を有している。図9に示すように、ガラス基板101上にテーパ形状を持つ単結晶シリコン102が接合されている。傾斜部分には金属遮光膜があり伝搬光が漏れないようになっている。光入射開口と光出射開口の間には効率を向上するためのシリンドリカル集光レンズ103がある。この近接場光プローブ・スライダは、単一の光入射開口が図9の(a)中のA方向を長辺とした矩形状に形成され、当該光入射開口から入射された光が集光レンズを介してA方向に配列された複数の光出射開口に入射されるように構成されている。光入射開口は、近接場光プローブ・スライダの内壁を傾斜させて形成することでガルバノミラー側から集光レンズ側に向かって開口が次第に小となるように形成されている。そして、この近接場光プローブ・スライダは、このように光入射開口が形成されることにより、一

次元スリット状であって、複数の遮光材が当該一次元方向において複数個配設された光出射開口を形成する。上記光出射開口は、A方向において一次元方向に約50nm程度の間隔Lで複数個配列されてなる。この間隔はスライダ底面に形成した遮光膜104を短冊状にエッチングしたときのパターンで決まる。従って、スライダ底面までの距離が長い光入射光側からのエッチングで寸法が決まるわけではないので、その寸法精度が非常に高い。また、この近接場光プローブ・スライダは、図9に示すようにガルバノミラー側の上面がSi(100)面で構成され、光入射開口から光出射開口を接続する内壁がSi(111)面で構成されている。

【0045】このような近接場光プローブ・スライダは、ガルバノミラーからの光を光入射開口で入射し、内壁で入射された光を乱反射させるように次第に光出射開口に向かって図9の(a)中のB方向において集光し、集光レンズに光を導く。そして、近接場光プローブ・スライダは、集光レンズに入射した光を光出射開口に導き、各光出射開口から光を出射させる。この結果、近接場光プローブ・スライダからは、ガルバノミラーで1次元のA方向において方向が変化されたことに応じて各光出射開口から順次光を記録メディアに出射する。これにより高速記録・再生を実現できる。本近接場光プローブ・スライダは記録メディアとスライダ底面間のギャップを小さくするために接触スライディングをさせる場合がある。この場合、摩擦・摩耗の観点からすると記録メディアの回転速度は低い方がよい。ところがこれだと記録・再生速度が遅くなってしまう。そこで、ビームを振らせることにより複数トラックに記録或いは再生を行い、実質的記録再生速度を向上させることができる。本実施例では出射光の走査を行うシステムを提供できる。

【0046】図10は図9のプローブ・スライダを記録媒体上で使用する際の説明図である。同図に示すように、サスペンション111を介して、スライダは記録媒体上に位置決めされる。光出射開口の間隔は底面側のフォトリソ・エッチングで決まるので、その間隔をトラックピッチとほぼ同じにすることができる。よって、トラックとの角度 θ を小さくして記録メディアに形成されるトラック列に対して配設することができる。従って、上述した従来例1の光プローブと比較して、使用中に角度 θ がずれることによるトラッキングの誤差を小さくすることができる。

【0047】図11は図9の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。同図において、図4と同じ参照符号は同じ構成要素を示す。先ず、図11の(a)に示すように、厚み数百 μm の単結晶Si(シリコン)基板41上に約1 μm の SiO_2 (酸化シリコン)層42と約10 μm の単結晶Si層43が積層されている。所謂SOI基板を用いる。一番上には膜厚数百nmの SiO_2 層44がある。開口を作製したいところの

SiO₂層44をフォトリソ、エッチングにより除去する。除去する部分の寸法は開口の寸法が数十から数百nmになるように見込んで決める。次に、図11の(b)に示すように、単結晶Si層43をアルカリエッチングによりエッチングする。この時のエッチャントとしては、ヒドラジン(N₂H₄・H₂O)、KOH、NaOH、CaOH、EDP(Ethylene Diamine Pyrocatechol(water))、TMAH(tetramethyl ammonium hydroxide、(CH₃)₄NOH)などの結晶軸異方性エッチャントを用いる。エッチャントの温度は50から80℃ぐらいにする。これらのエッチャントは結晶軸異方性エッチャントであり、これにより(111)面に囲まれた逆ピラミッド状の穴形状ができる。先端部分がちょうどSiO₂層42になるようにすると、穴底面が正方形または長方形になる。この一辺が数十から数百nmになるように最初のSiO₂のパターニング寸法を決めておく。そして、図11の(c)に示すように、最上層のSiO₂層44を弗酸などで除去すると共に、シリンドリカル集光レンズ45を開口に設置する。そして、図11の(d)に示すように、ガラス47を単結晶Si層43の上に乗せ、単結晶Si基板41とガラス47に電極48、49を圧接させる。このガラス47としては例えば米国コーニング社製#7740を用いる。その厚みは0.1mmから3mmぐらいである。窒素ガス中あるいは真空中で350℃に加熱した状態で、単結晶Si基板41側に正の300V程度の電圧Vbを10分程度印加する。このような方法によりガラス47は単結晶Si層43に接合される。単結晶Si基板41と単結晶Si層43の間には絶縁層であるSiO₂層42があるが、温度が高く、電圧も高いので、電流が突き抜けたり、漏れていたりして、接合に必要な電流が流れる。そして、図11の(e)に示すように、接合された基板を再びアルカリエッチャントの中に入れる。単結晶Si基板41はアルカリエッチャントによりエッチングされる。例えばKOHはSi以外にSiO₂(ガラスの主成分)もエッチングするが、ガラスは非常に厚いので、全てエッチングされることはない。また、単結晶Si層43とガラス47は非常に強固に接合されているので、両者間にエッチャントが侵入することはないので、単結晶Si層43がエッチングされることはない。よって、単結晶Si基板41のみがエッチングされる。SiO₂はアルカリエッチャントに対するエッチングスピードがSiの1/100以下であるので、単結晶Si基板41がエッチングされきったところでエッチングを止めることができる。そして、図11の(f)に示すように、遮光膜1201をSiO₂層42上に形成する。次に、図11の(g)に示すように、短冊状のレジストパターン1202を形成する。そして、図11の(h)に示すように、遮光膜1201をエッチングによりパターニングし、レジストパターン1202を除去する。このような方法で作製した近接場光プローブ・スライダは透光性基板であるガラスに支えられているので、機械的強度が高い。ま

た、基板に対して著しく薄いシリコン層(約10μm以下)をエッチングして開口穴を形成するので、光出射開口の短辺方向の寸法精度が高くなる。また、シリンドリカルレンズの集光レンズを設置することが困難な場合は、図5のように対物レンズ51をプローブ・スライダ外に置いて良い。

【0048】図12は本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。図2に示す近接場光プローブ・スライダとほとんど同じであるが、出射側開口に光を集光させるレンズを開口穴に設置するのではなく、ガラス基板21上にマイクロレンズ1701を作製する。

【0049】図13は図12の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。図4とほとんど同じである。ただし、図13の(c)でシリンドリカル集光レンズを設置しないことと、図13の(d)の陽極接合において、既に他のプロセスによりマイクロレンズ1701を形成済みのガラス基板47を接合することが異なる。図12に示す構成では、図2に示す例のようにシリンドリカルレンズの集光レンズ24を開口穴に設置するという不確実な工程を経なくていいので、非常に歩留まりが良くなる。

【0050】このような近接場光プローブを使って光出射開口での近接場光を走査する方法は上述の図1、図5～図8で示した方法で可能である。また、マイクロレンズとしては図14～18の種々のマイクロレンズを用いることができる。特にワーキングディスタンスを短くして、NAを高くするためには図16のマイクロレンズを用いると良い。この場合の近接場光スライダ・プローブ構成を図19に示す。なお、図13では既にマイクロレンズを形成したガラス基板を陽極接合したが、これとは異なり後述する図30のように、平板のガラスを陽極接合した後、マイクロレンズを形成するようにしても良い。また、マイクロレンズとしては必ずしも、球面レンズである必要はなく、非球面レンズや、楕円形レンズ、シリンドリカルレンズでも良い。

【0051】図20は本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。図9に示す近接場光プローブ・スライダとほとんど同じであるが、出射側開口に光を集光させるレンズを開口穴に設置するのではなく、ガラス基板上にマイクロレンズ2501を作製する。

【0052】図21は図20の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。図11とほとんど同じであるが、図21の(c)でシリンドリカル集光レンズを設置しないことと、図21の(d)の陽極接合において、既に他のプロセスによりマイクロレンズ2601を形成済みのガラス基板47を接合することが異なる。この構成では、図11に示すようにシリンドリカル集光レンズを開口穴に設置するという不確

実な工程を経なくていいので、非常に歩留まりが良くなる。

【0053】このような近接場プローブを使って光出射開口での近接場光を走査する方法は上述した実施例の方法で可能である。また、マイクロレンズ2601としては図14～18の種々のマイクロレンズを用いることができる。特にワーキングディスタンスを短くして、NAを高くするためには図16のマイクロレンズを用いると良い。なお、図21では既にマイクロレンズを形成したガラス基板を陽極接合したが、これとは異なり後述する図30のように、平板のガラスを陽極接合した後、マイクロレンズを形成するようにしても良い。また、マイクロレンズとしては必ずしも、球面レンズである必要はなく、非球面レンズや、楕円形レンズ、シリンドリカルレンズでも良い。

【0054】図22は本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。図22の(a)は近接場光プローブ・スライダを上面から見た図、図22の(b)は断面図、図22の(c)は近接場光プローブ・スライダの底面図を各々示す。同図において、突起部2701は、ガラス基板101よりも屈折率が非常に高い高屈折率材料からなる。この実施の形態では、例えばSi材料からなる。この突起部2701は、底面をガラス基板101側に形成した例えば四角錐形状となってガラス基板101上に形成される。この突起部2701は、先端部分に近接場光を発生させるように設計され、先端部分を光の波長程度あるいは波長以下に形成させることで先端部分に近接場光でない伝搬光を発生させるように設計される。更に、この突起部2701の側面は光が突起部の底面側から入射されたとき、先端部分で光強度が大きくなるように設計されている。ここで、本近接場光プローブ・スライダでは、突起部2701の頂点部2702の形状が、例えば長円形状、長方形形状等のいわゆる細長形状をしている。図22に示す例では、突起部2701はその頂点部2702が長方形形状とされている。具体的には後述するが、突起部2701の頂点部2702をいわゆる細長形状とすることで、モード間干渉により発生する略楕円状のビームスポットの、長軸方向、すなわち入射光の偏光方向と平行な方向に対しても小スポット化を実現することができる。金属遮光膜2703は、例えばAl・Au等の遮光性材料からなり、例えば蒸着法等の薄膜形成技術により、光を透過させない程度の膜厚に形成される。この金属遮光膜2703は、例えばAl材料を用いた場合、約30nm程度、或いはそれ以上の膜厚で形成される。この金属遮光膜2703は、ガラス基板101及び突起部2701の側面に形成される。

【0055】このような近接場光プローブ・スライダは、ガラス基板101側から光が入射されると、金属遮光膜2703で光を散乱させて突起部2701の頂点部2702での光強度が大きくなるように集光し、突起部

2701と試料との間に近接場光を発生させる。また、金属遮光膜2703を形成することで、突起部2701の先端から発生する光以外の光を遮断することができ、読み取り信号のS/Nを向上させることができる。

【0056】更に、上述したように、このような近接場光プローブ・スライダでは、モード間干渉効果を利用することで、小スポット化と高効率化とが同時に達成されている。しかし、上述したように、突起部の頂点部の形状が、正方形形状又は円形状、あるいはそれに類する形状であるような場合、本願出願人が先に特許第3,053,380号明細書で提案したモード間干渉により発生するビームスポットの形状は楕円形状となってしまう。すなわち、入射光の偏光方向と垂直な方向に対しては、ビームスポット径が小さくなり、回折限界を超えた高分解能化が達成可能であるが、入射光の偏光方向と平行な方向に対しては、ビームスポット径が半波長程度までにしか小さくならず、高分解能化が困難であった。本実施例では、突起部の頂点部の形状を入射光の偏光方向と平行な方向が短辺となり、入射光の偏光方向と垂直な方向が長辺となるような長方形形状としている。突起部の頂点部の形状を長方形形状とすることで、小スポット化が困難であった入射光の偏光方向と平行な方向、すなわち頂点部の短辺方向に対しては、頂点部形状によって光が閉じ込められることになる。また、頂点部の短辺に対して平行に入射する光に対してはカットオフが存在しない。これにより、入射光の偏光方向と平行な方向に対してもビームスポットの小スポット化を実現し、一層の高分解能化と高効率化とを実現することができる。

【0057】このような頂点部の形状として具体的に30は、長辺の長さaが、 $a \geq \lambda / 2n$ の範囲、すなわち長辺の長さaは最低次モードのカットオフ径($\lambda / 2n$)以上であることが必要である。また、短辺の長さbは、 $a > b$ を満たすことが必要である。具体的には、シリコン(屈折率 $n = 3.6$)からなる突起部において、波長 λ を780nmとした場合、 $a > 108\text{nm}$ となる。なお、最低次モードのカットオフ径($\lambda / 2n$)以上となるように、長辺の長さaを設定すれば、bはいくらでも小さくしても構わない。

【0058】図23は図22の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。先ず、図23の(a)に示すように、ガラス基板41には厚み数百 μm のガラスを用いる。石英基板でも良い。そして、図23の(b)に示すように、プローブを作製する場所にフォトリソなど突起形状樹脂61を形成する。図23の(c)に示すように、これをマスクにし、突起形状をガラス材料で突起62を形成(樹脂パターンの転写)する。更に、図23の(d)に示すように、突起側に遮光膜63を堆積する。最後に、図23の(e)に示すように、突起先端部分の遮光膜63をFIBある50いは化学機械研磨などの方法で除去する。

【0059】図24は図22の近接場光プローブ・スライダを作製する別のプロセス例を示す工程図である。まず、図24の(a)に示すように、厚み数百 μm の単結晶Si(シリコン)基板41上に約1 μm の SiO_2 (酸化シリコン)層42と約5~10 μm の単結晶Si層43が積層されている。所謂SOI基板を用いる。図24の

(b)、(c)に示すように、ガラス46を単結晶Si層43の上に乗せ、単結晶Si基板41とガラス46に電極47、48を圧接させる。このガラス46としては例えば米国コーニング社製#7740を用いる。その厚みは0.1mmから3mmぐらいである。窒素ガス中あるいは真空中で350℃に加熱した状態で、単結晶Si基板41側に正の300V程度の電圧Vbを10分程度印加する。このような方法により図24の(c)に示すようにガラス46は単結晶Si層43に接合される。単結晶Si基板41と単結晶Si層43の間には絶縁層である SiO_2 層42があるが、温度が高く、電圧も高いので、電流が突き抜けたり、漏れていたりして、接合に必要な電流が流れる。そして、図24の(d)に示すように、単結晶Si基板41を強アルカリエッチングなどで、 SiO_2 層42をフッ酸などで除去する。図24の(e)に示すように、この後、フォトリソにより、パターン樹脂2801を形成する。そして、図24の(f)に示すように、これをマスクにし、先の対物レンズを作製したときと同様に、突起形状を高屈折率材料に形成(樹脂パターンの転写)する。このときの高屈折率材料としてはシリコンを用いる。シリコンの屈折率は、波長 $\lambda=780\text{nm}$ において屈折率 $n=3.7$ と非常に高い。また、5 μm 程度の厚みだと40%程度の透過率を示す。更に、図24の

(g)に示すように、突起側に遮光膜2802を堆積する。最後に、図24の(h)に示すように、突起先端部分の遮光膜2802をFIBあるいは化学機械研磨などの方法で除去する。このような近接場プローブを使って光出射開口での近接場光を走査する方法は実施例で述べた方法で可能である。ただし、この例では集光レンズがプローブ・スライダ上にないので、図5のように対物レンズ51をプローブ・スライダ外に置く構成にする必要がある。

【0060】図25は本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。図22に示す近接場光プローブ・スライダとほとんど同じであるが、複数の遮光材2703が、頂点部2702の長径方向において複数個配設された光出射開口を形成する。上記光出射開口は、図中のA方向において一次元方向に約50nm程度の間隔Lで複数個配列されてなる。この間隔は頂点部2702に短冊状に形成するレジストパターンで決まる。よって、その寸法精度が非常に高い。

【0061】図26は図25の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。図23とほとんど同じである。ただし、図26の(b)に示す

ように突起形状樹脂61を形成する際に、後に短冊状の遮光膜63を形成する場所の樹脂膜厚を少々薄くする。これはこの場所だけ露光量を減らして、フォトマスクを介して露光することにより実現できる。図26の(c)に示すように、これをマスクにし、図23と同様に、突起形状をガラス材料で突起62を形成(樹脂パターンの転写)する。短冊状に樹脂膜厚を薄くしたところのガラス材料には、溝ができる。更に、図26の(d)に示すように、突起側に遮光膜63を堆積する。短冊状の溝部分にも遮光膜63が堆積する。最後に、図26の(e)に示すように、突起先端部分の遮光膜63をFIBあるいは化学機械研磨などの方法で除去する。先の溝部分の遮光膜は除去されないで残るので、短冊状に遮光膜63が残る。

【0062】図27は図25の近接場光プローブ・スライダを作製する別のプロセス例を示す工程図である。図24とほとんど同じである。ただし、図27の(e)で突起形状樹脂2801を形成する際に、後に短冊状の遮光膜2802を形成する場所の樹脂膜厚を少々薄くする。これはこの場所だけ露光量を減らして、フォトマスクを介して露光することにより実現できる。図27の(f)に示すように、これをマスクにし、先の対物レンズを作製したときと同様に、突起を高屈折率材料に形成(樹脂パターンの転写)する。このときの高屈折率材料としてはシリコンとなる。シリコンの屈折率は、波長 $\lambda=780\text{nm}$ において屈折率 $n=3.7$ と非常に高い。また、5 μm 程度の厚みだと40%程度の透過率を示す。短冊状に樹脂膜厚を薄くしたところの高屈折率材料には、溝ができる。更に、図27の(g)に示すように、突起側に遮光膜2802を堆積する。短冊状の溝部分にも遮光膜が堆積する。そして、図27の(h)に示すように、突起先端部分の遮光膜2802をFIBあるいは化学機械研磨などの方法で除去する。先の溝部分の遮光膜2802は除去されないで残るので、短冊状に遮光膜2802が残る。

【0063】このような近接場光プローブを使って光出射開口での近接場光を走査する方法は上述の実施例で述べた方法で可能である。ただし、この例では集光レンズがプローブ・スライダ上にないので、図5のように対物レンズ51をプローブ・スライダ外に置く構成にする必要がある。

【0064】図28は本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。図22に示す近接場光プローブ・スライダとほとんど同じであるが、出射側開口に光を集光させるマイクロレンズ3101を、ガラス基板上に作製する。

【0065】図29は図28の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。まず、図29の(a)に示すように、ガラス基板41には厚み数百 μm のガラスを用いる。石英基板でも良い。次に、

図29の(b)に示すように、プローブを作製する場所にフォトレジストなどで突起形状樹脂61を形成する。図29の(c)に示すように、これをマスクにし、突起形状をガラス材料で突起62を形成(樹脂パターンの転写)する。更に、図29の(d)に示すように、突起側に遮光膜63を堆積する。そして、図29の(e)に示すように、突起先端部分の遮光膜63をFIBあるいは化学機械研磨などの方法で除去する。次に、突起が形成されている面と反対の面に、感光性材料(レジスト)を塗布する。塗布する感光性材料の厚さは、ガラス基板に形成する対物レンズの高さと、後に感光性材料をレジストとしてエッチングを行う材料(Si)のエッチング速度とレジストのエッチング速度との比(選択比)により設定する。例えば、両者のエッチング速度が等しい場合(選択比1)には、レジストの高さは形成する対物レンズの高さと等しくする。また、Siのエッチング速度がレジストのエッチング速度より2倍大きい場合(選択比2)には、レジストの高さは対物レンズの高さの1/2でよい。また、ガラス基板上に塗布する感光性材料としては、通常の半導体製造に用いられるフォトレジストあるいは感光性ドライフィルムを使用する。具体的には、OFPR-800(ポジ型レジスト)、OMR-85(ネガ型レジスト)などを用いればよい。ポジ型あるいはネガ型の選択によりレジストに形状を転写する工程(フォトリソ工程)に用いる写真マスクの形状が変化するが、基本的な形成手順は変わらない。なお、ここではポジ型レジストを用いる場合について説明する。次に、図29の(f)に示すように、ガラス基板41上に形成したレジスト上に対物レンズ径と同等のパターンを形成したマスク(フォトマスク)を介して光を照射し、感光性材料を感光させる。これにより、光照射後に現像するとガラス基板上に対物レンズ径と同等のパターン樹脂64が残る。続いて、図29の(g)に示すように、上記残存したパターン樹脂に対し、熱および(あるいは)圧力を加え、重力および表面張力の効果によりレジスト表面を凸レンズ形状のマикроレンズ65を形成する。なお、作用させる温度と圧力はレジスト形状により異なるが、温度においては200~400度、圧力は1~10気圧の範囲で選べばよい。更に、このようにして形成した凸レンズ形状の樹脂をマスクとしてガラス基板を垂直な方向にエッチング(異方性エッチング)する。このエッチングの手段としては、半導体製造プロセスで通常用いられるドライエッチングが可能である。具体的には反応性イオンエッチング法(RIE)や電子サイクロトロン共鳴エッチング法(ECR)などである。ドライエッチングに用いるガスは基板材料により選択する。例えば基板材料がSiの場合は、 CF_4 、 CHF_3 、 SF_6 などを用いる。また、エッチング速度や選択性の調整のために上記のエッチングガスに、 N_2 、 O_2 、 Ar などのガスを混入してもよい。すなわち、上記工程により、Si上に対物レンズ65が形成され

る。

【0066】図30は図28の近接場光プローブ・スライダを作製する別のプロセス例を示す工程図である。まず、図30の(a)に示すように、厚み数百 μm の単結晶Si(シリコン)基板41上に約1 μm の SiO_2 (酸化シリコン)層42と約5~10 μm の単結晶Si層43が積層されている。所謂SOI基板を用いる。図30の

(b)に示すように、ガラス47を単結晶Si層43の上に乗せ、単結晶Si層43とガラス47に電極48、49を圧接させる。このガラス47としては例えば米国コーニング社製#7740を用いる。その厚みは0.1mmから3mmぐらいである。窒素ガス中あるいは真空中で350℃に加熱した状態で、単結晶Si基板41側に正の300V程度の電圧 V_b を10分程度印加する。図30の(c)に示すように、ガラス47は単結晶Si層43に接合される。単結晶Si基板41と単結晶Si層43の間には絶縁層である SiO_2 層42があるが、温度が高く、電圧も高いので、電流が突き抜けたり、漏れていたりして、接合に必要な電流が流れる。図30の(d)~(g)は上記従来例と同様に対物レンズを作製する。そして、図30の(h)に示すように、単結晶Si基板41と SiO_2 層42を図24の(d)と同様に除去する。この後、図30の(i)、(j)に示すように、プローブを作製する場所にパターン樹脂3206を形成する。そして、図30の(k)に示すように、これをマスクにし、先の対物レンズを作製したときと同様に、突起形状を高屈折率材料3207に形成(樹脂パターンの転写)する。このときの高屈折率材料としてはシリコンとなる。シリコンの屈折率は、波長 $\lambda=780nm$ において屈折率 $n=3.7$ と非常に高い。また、5 μm 程度の厚みだと40%程度の透過率を示す。更に、図30の(l)に示すように、突起側に遮光膜3208を堆積し、図30の(m)に示すように、突起先端部分の遮光膜3208をFIBあるいは化学機械研磨などの方法で除去する。

【0067】図28に示す構成を有する近接場光プローブ・スライダでは、図22に示す例よりもレンズをプローブに近づけて配置できるのでNAを高くすることができる。よって、光利用効率を向上することができる。このような近接場プローブを使って光出射開口での近接場光を走査する方法は上述の実施例で述べた方法で可能である。また、マイクロレンズとしては図14~18の種々のマイクロレンズを用いることができる。更に、ワーキングディスタンスを短くして、NAを高くするためには図16のマイクロレンズを用いると良い。また、マイクロレンズとしては必ずしも、球面レンズである必要はなく、非球面レンズや、楕円形レンズ、シリンドリカルレンズでも良い。

【0068】図31は本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。図25とほとんど同じであるが、出射側開口に光を集光させるマイクロレ

レンズ3301を、ガラス基板101上に作製する。

【0069】図32は図31の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。図26とほとんど同じである。ただし、図32の(b)に示すように突起形状樹脂61を形成する際に、後に短冊状の遮光膜63を形成する場所の樹脂膜厚を少々薄くする。これはこの場所だけ露光量を減らして、フォトマスクを介して露光することにより実現できる。図32の(c)に示すように、これをマスクにし、図29と同様に、突起形状をガラス材料で突起62を形成(樹脂パターンの転写)する。短冊状に樹脂膜厚を薄くしたところのガラス材料には、溝ができる。更に、図32の(d)に示すように、突起側に遮光膜63を堆積する。短冊状の溝部分にも遮光膜63が堆積する。そして、図32の(e)に示すように、突起先端部分の遮光膜63をFIBあるいは化学機械研磨などの方法で除去する。先の溝部分の遮光膜63は除去されないで残るので、短冊状に遮光膜63が残る。

【0070】図33は図31の近接場光プローブ・スライダを作製する別のプロセス例を示す工程図である。図27とほとんど同じである。ただし、図33の(e)～(h)において、マイクロレンズを形成する。

【0071】図31に示す構成を有する近接場光プローブ・スライダでは、図25に示す例よりもレンズをプローブに近づけて配置できるのでNAを高くすることができる。よって、光利用効率を向上することができる。このような近接場プローブを使って光出射開口での近接場光を走査する方法は上述の実施例で述べた方法で可能である。また、マイクロレンズとしては図14～18の種々のマイクロレンズを用いることができる。なお、マイクロレンズとしては必ずしも、球面レンズである必要はなく、非球面レンズや、楕円形レンズでも良い。更に、ワーキングディスタンスを短くして、NAを高くするためには図16のマイクロレンズを用いると良い。このマイクロレンズ形状のフォトレジストパターンを形成する方法としては、ここで挙げたりフローの方式の他に、図34のようないわゆる中間調マスクパターンのフォトマスクを使っても良い。

【0072】図35は本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。図35の(a)は近接場光プローブ・スライダを上面から見た図、同図の(b)は断面図、同図の(c)は近接場光プローブ・スライダの底面図、同図の(d)は近接場光プローブ・スライダの側面図を各々示す。図22とほとんど同じであるが、ここではガラス基板ではなく薄いシリコン基板2704の上にシリコンでできた、四角錐形状の突起が形成されている。シリコンは屈折率が非常に高い高屈折率材料であり、波長750nm～850nmの間で3.7程度の大きい屈折率nを持つ。突起の下はシリコンは薄いので、上記波長でも、入射光に対して、数十%程度は

透過する。突起部の形状、寸法も図22に示すものと同様に決定される。

【0073】図36は図35の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。まず、図36の(a)に示すように、厚み数百 μm の単結晶Si(シリコン)基板41上に約1 μm の SiO_2 (酸化シリコン)層42と約5～10 μm の単結晶Si層43が積層されている。所謂SOI基板を用いる。次に、図36の(b)に示すように、プローブを作製する場所にフォトレジストなどで突起形状樹脂61を形成する。そして、図36の(c)に示すように、これをマスクにし、突起形状を高屈折率材料で突起62を形成(樹脂パターンの転写)する。このときの高屈折率材料として、一例として、Si(シリコン)を用いる。シリコンの屈折率nは、波長 $\lambda=780\text{nm}$ において屈折率 $n=3.7$ と非常に高い。また5 μm 程度の厚みだと40%程度の透過率を示す。次に、図36の(d)に示すように、突起側に遮光膜63を堆積する。そして、図36の(e)に示すように、突起先端部分の遮光膜63をFIBあるいは化学機械研磨などの方法で除去する。最後に、図36の(f)に示すように、単結晶Si基板41と SiO_2 層42を除去する。このような近接場プローブを使って出射開口での近接場光を走査する方法は図1、図5～図8に示した方法で可能である。ただし、この例では集光レンズがプローブ・スライダ上にないので、図5のように対物レンズ51をプローブ・スライダ外に置く構成にする必要がある。また、図35に示す構成ではガラスとシリコンの界面が存在しないので、ガラス-シリコン界面での反射による光利用効率の低下を防ぎ、さらなる光利用効率の向上が可能となる。空気とシリコン界面には反射防止膜を形成できる。

【0074】図37は本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。図37の(a)は近接場光プローブ・スライダを上面から見た図、同図の(b)は断面図、同図の(c)は近接場光プローブ・スライダの底面図、同図の(d)は近接場光プローブ・スライダの側面図を、各々示す。構造は図34のものとほとんど同じであるが、突起部と薄いシリコン基板を支えるガラス基板2706を設けている。これらをこれによりスライダ・プローブの剛性が向上する。

【0075】図38は図37の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。まず、図38の(a)に示すように、厚み数百 μm の単結晶Si(シリコン)基板41上に約1 μm の SiO_2 (酸化シリコン)層42と約5～10 μm の単結晶Si層43が積層されている。所謂SOI基板を用いる。次に、図38の(b)に示すように、単結晶Si層43上に、感光性材料(レジスト)を塗布し、後にガラスを接合する面をマイクロレンズ周辺に残しておくようにレジストパターン71を形成する。形成の仕方などは図4に示す例と同様である。

更に、図38の(c)に示すように、形成したレジストパターン71をマスクとしてSiを垂直な方向にエッチング(異方性エッチング)し、周辺にガラス接合面を残す。エッチングの方法は図4に示す例と同様である。そして、図38の(d)に示すように、ガラス72を単結晶Si層43の上に乗せ、単結晶Si基板41とガラス72に電極73を圧接させる。このガラスとしては例えば米国コーニング社製#7740を用いる。その厚みは0.1mmから3mmぐらいである。そして、窒素ガス中あるいは真空中で350℃に加熱した状態で、単結晶Si基板側に正の300V程度の電圧Vbを10分程度印加する。このような方法によりガラス72は単結晶Si層43に接合される。シリコン基板とシリコン層の間には絶縁層であるSiO₂があるが、温度が高く、電圧も高いので、電流が突き抜けたり、漏れていたり、接合に必要な電流が流れる。このようにして、ガラス72と単結晶Si層43が接合される。そして、図38の(f)に示すように、単結晶Si(シリコン)基板41を除去する。更に、SiO₂(酸化シリコン)層42も除去する。そして、図38の(g)に示すように、プローブを作製する場所にフォトレジストなどで突起形状樹脂61を形成する。次に、図37の(h)に示すように、これをマスクにし、突起62を単結晶Si層に形成(樹脂パターンの転写)する。更に、図37の(i)に示すように、突起側に遮光膜63を堆積する。また、図37の(j)に示すように、突起先端部分の遮光膜63をFIBあるいは化学機械研磨などの方法で除去する。

【0076】このような近接場プローブを使って出射開口での近接場光を走査する方法は図1、図5～図8に示した方法で可能である。ただし、図37に示す例では集光レンズがプローブ・スライダ上にないので、図5のように対物レンズ51をプローブ・スライダ外に置く構成にする必要がある。また、図36に示す構成を有する近接場光プローブ・スライダではガラスとシリコンの界面が存在しないので、ガラスーシリコン界面での反射による光利用効率の低下を防ぎ、さらなる光利用効率の向上が可能となる。空気とシリコン界面及びガラスとシリコン界面には反射防止膜を形成できる。

【0077】図39は本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。図39の(a)は近接場光プローブ・スライダを上面から見た図、同図の(b)は断面図、同図の(c)は近接場光プローブ・スライダの底面図、同図の(d)は近接場光プローブ・スライダの側面図を、各々示す。構造は図35のものとはほとんど同じであるが、突起部の底面側にはマイクロレンズ2707が形成されている。この例では対物レンズと突起部がともに高屈折率なSiでできている。したがって、レンズ及び突起部内での光の波長は従来のガラスの場合よりも短くなる。具体的にはガラスの屈折率nは約1.5であるので、ガラスの場合の0.4倍になる。例

えば真空中で波長750nmの光はSi内では約200nmになる。上記のモード間干渉あるいは高NAレンズを用いる場合でも、Si内ではガラス内の場合よりも波長が上記のように短くなるので、スポットの大きさは全て従来例の0.4倍になるので、従来よりも高密度な記録が実現する。また、マイクロレンズと突起部との間に且つ繋ぎ目がないので、境界面における反射が無く、光利用効率が高くなる。

【0078】図40は図39の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。まず、図40の(a)に示すように、厚み数百μmの単結晶Si(シリコン)基板41上に約1μmのSiO₂(酸化シリコン)層42と約5～10μmの単結晶Si層43が積層されている。所謂SOI基板を用いる。次に、図40の(b)に示すように、プローブを作製する場所にフォトレジストなどで突起形状樹脂61を形成する。そして、図40の(c)に示すように、これをマスクにし、突起62を高屈折率材料で形成(樹脂パターンの転写)する。このときの高屈折率材料として、一例として、Si(シリコン)を用いる。シリコンの屈折率nは、波長λ=780nmにおいて屈折率n=3.7と非常に高い。また5μm程度の厚みだと40%程度の透過率を示す。更に、図40の(d)に示すように、突起側に遮光膜63を堆積する。そして、図40の(e)に示すように、突起先端部分の遮光膜63をFIBあるいは化学機械研磨などの方法で除去する。次に、図40の(f)に示すように、単結晶Si(シリコン)基板の突起が形成されている部分を除去する。そして、同じ場所のSiO₂(酸化シリコン)層を除去する。次に、図40の(g)に示すように、露出したSi上に、感光性材料(レジスト)を塗布する。塗布する感光性材料の厚さは、Si上に形成する対物レンズの高さと、後に感光性材料をレジストしてエッチングを行う材料(Si)のエッチング速度とレジストのエッチング速度との比

(選択比)により設定する。例えば、両者のエッチング速度が等しい場合(選択比1)には、レジストの高さは形成する対物レンズの高さと等しくする。また、Siのエッチング速度がレジストのエッチング速度より2倍大きい場合(選択比2)には、レジストの高さは対物レンズの高さの1/2でよい。また、Si上に塗布する感光性材料としては、通常の半導体製造に用いられるフォトレジストあるいは感光性ドライフィルムを使用する。具体的には、OFPR-800(ポジ型レジスト)、OMR-85(ネガ型レジスト)などを用いればよい。ポジ型あるいはネガ型の選択によりレジストに形状を転写する工程(フォトリソ工程)に用いる写真マスクの形状が変化するが、基本的な形成手順は変わらない。ここではポジ型レジストを用いる場合について説明する。次に、Si上に形成したレジスト上に対物レンズ径と同等のパターンを形成したマスク(フォトマスク)を介して光を照射し、感光性材料を感光させる。これにより、光照射後に現像するとSi上

に對物レンズ径と同等のパターン樹脂64が残る。続いて、上記残存したパターン樹脂64に対し、熱および（あるいは）圧力を加え、重力および表面張力の効果によりレジスト表面を凸レンズ形状に形成する。なお、作用させる温度と圧力はレジスト形状により異なるが、温度においては200～400度、圧力は1～10気圧の範囲で選べばよい。更に、このようにして形成した凸レンズ形状の樹脂をマスクとしてSiを垂直な方向にエッチング（異方性エッチング）する。このエッチングの手段としては、半導体製造プロセスで通常用いられるドライエッチングが可能である。具体的には反応性イオンエッチング法（RIE）や電子サイクロトロン共鳴エッチング法（ECR）などである。ドライエッチングに用いるガスは基板材料により選択する。例えば基板材料がSiの場合は、 CF_4 、 CHF_3 、 SF_6 などを用いる。また、エッチング速度や選択性の調整のために上記のエッチングガスに、 N_2 、 O_2 、 Ar などのガスを混入してもよい。すなわち、上記工程により、Si上に對物レンズ65が形成される。

【0079】図39に示す構成を有する近接場光プローブ・スライダでは、レンズをプローブに近づけて配置できるのでNAを高くすることができる。よって、光利用効率の向上と記録密度の向上が図れる。また、マイクロレンズとしては必ずしも、球面レンズである必要はなく、非球面レンズや、楕円形レンズでも良い。このマイクロレンズ形状のフォトリソパターンを形成する方法としては、ここで挙げたりフローの方式の他に、図34に示すようないわゆる中間調マスクパターンのフォトリソマスクを使っても良い。

【0080】図41は本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。図41の（a）は近接場光プローブ・スライダを上面から見た図、同図の（b）は断面図、同図の（c）は近接場光プローブ・スライダの底面図、同図の（d）は近接場光プローブ・スライダの側面図を、各々示す。構造は図37のものとはほとんど同じであるが、これらを支えるガラス基板270を設けている。これによりスライダ・プローブの剛性が向上する。更に、マイクロレンズ2707を作製するフォトリソが容易になる。

【0081】図42は図41の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。先ず、図42の（a）に示すように、厚み数百 μm の単結晶Si（シリコン）基板41上に約1 μm の SiO_2 （酸化シリコン）層42と約5～10 μm の単結晶Si層43が積層されている。所謂SOI基板を用いる。そして、図42の

（b）に示すように、単結晶Si層43上に、感光性材料（レジスト）を塗布し、マイクロレンズ形状のレジストパターン71を形成する。この時、後にガラスを接合する面をマイクロレンズ周辺に残しておくようにレジストパターン71を形成する。形成の仕方などは図4に示す例と同様である。更に、図42の（c）に示すように、形

成した凸レンズ形状の樹脂をマスクとしてSiを垂直な方向にエッチング（異方性エッチング）する。この時レンズ周辺にガラス接合面も残す。エッチングの方法は図4の例と同様である。そして、図42の（d）に示すように、ガラス72を単結晶Si層43の上に乗せ、単結晶Si基板41とガラス72に電極73を圧接させる。このガラスとしては例えば米国コーニング社製#7740を用いる。その厚みは0.1mmから3mmぐらいである。窒素ガス中あるいは真空中で350℃に加熱した状態で、単結晶Si基板41側に正の300V程度の電圧を10分程度印加する。このような方法によりガラス72は単結晶Si層43に接合される。シリコン基板とシリコン層の間には絶縁層である SiO_2 があるが、温度が高く、電圧も高いので、電流が突き抜けたり、漏れていたり、接合に必要な電流が流れる。ガラス72と単結晶Si層43が接合される。次に、図42の（f）に示すように、単結晶Si（シリコン）基板を41除去する。さらに、 SiO_2 （酸化シリコン）層42も除去する。そして、図42の（g）に示すように、プローブを作製する場所にフォトリソレジストなどで突起形状樹脂61を形成する。図42の（h）に示すように、これをマスクにし、突起62を単結晶Si層42に形成（樹脂パターンの転写）する。更に、図42の（i）に示すように、突起側に遮光膜63を堆積する。最後に、図42の（j）に示すように、突起先端部分の遮光膜63をFIBあるいは化学機械研磨などの方法で除去する。

【0082】図41に示す構成を有する近接場光プローブ・スライダでは、図37の例よりもレンズをプローブに近づけて配置できるのでNAを高くすることができる。よって、光利用効率を向上することができる。また、フォトリソを塗布する場合に、段差がないので、均一にフォトリソが塗布できるので、凸レンズ形状樹脂のパターンを精度良く形成できる。突起部先端での出射光スポットを小さくする方法としては、モード間干渉を使う方法とマイクロレンズの高いNAを利用する方法のどちらを使っても良い。また、マイクロレンズとしては必ずしも、球面レンズである必要はなく、非球面レンズや、楕円形レンズでも良い。このマイクロレンズ形状のフォトリソパターンを形成する方法としては、ここで挙げたりフローの方式の他に、図34のようないわゆる中間調マスクパターンのフォトリソマスクを使っても良い。このような近接場プローブを使って出射開口での近接場光を走査する方法は図1、図5～図8に示した例で述べた方法で可能である。また、小さい光スポット径を得るための他の方法として高NAのマイクロレンズを對物レンズに用いることができる。ここでは、いわゆる固浸レンズ（Solid Immersion Lens以下SILと呼ぶ）としてマイクロレンズを用いる。例えば、真空での波長を780nmの光を用い、マイクロレンズ（SIL）の開口率NAを1、Siの屈折率nを3.7とすると、入射して

くる波面等の条件にもよるが、実際に得られる波面の条件で考えると、突起先端にSILにより集光される、ピーク値の $1/e^2$ になるビーム径は約170nm、ピーク値の半値になるビーム径は約100nmになる。さらに、突起の短辺を数十nm、例えば、50nmにすることによりスポットの大きさは短辺長により制限されるので、これにより、記録密度はさらに向上する。上記の実施例では対物レンズと突起部がともに高屈折率なSiでできている。したがって、レンズ及び突起部内での光の波長は従来のガラスの場合よりも短くなる。具体的にはガラスの屈折率 n は約1.5であるので、ガラスの場合の0.4倍になる。例えば真空中で波長750nmの光はSi内では約200nmになる。上記のモード間干渉あるいは高NAレンズを用いる場合でも、Si内ではガラス内の場合よりも波長が上記のように短くなるので、スポットの大きさは全て従来例の0.4倍になるので、従来よりも高密度な記録が実現する。

【0083】図43は本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。図43の(a)は近接場光プローブ・スライダを上面から見た図、同図の(b)は断面図、同図の(c)は近接場光プローブ・スライダの底面図、同図の(d)は近接場光プローブ・スライダの側面図を、各々示す。構造は図35のものと同様であるが、複数の遮光材が、頂点部の長辺方向において複数個配設された光出射開口を形成する。光出射開口は、A方向において一次元方向に約50nm程度の間隔で複数個配列されてなる。この間隔は頂点部に形成するレジストパターンで決まる。したがって、その寸法精度が非常に高い。

【0084】図44は図43の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。図36と同様であるが、図44の(b)に示すように、突起形状樹脂61を形成する際に、後に短冊状の遮光膜63を形成する場所の樹脂膜厚を少々薄くする。これはこの場所だけ露光量を減らして、フォトマスクを介して露光することにより実現できる。そして、図44の(c)に示すように、これをマスクにし、先の対物レンズを作製したときと同様に、突起62を高屈折率材料で形成(樹脂パターンの転写)する。このときの高屈折率材料としてはシリコンとなる。シリコンの屈折率 n は、波長 $\lambda=780\text{nm}$ において屈折率 $n=3.7$ と非常に高い。また、5 μm 程度の厚みだと40%程度の透過率を示す。短冊状に樹脂膜厚を薄くしたところの高屈折率材料には、溝ができる。更に、図44の(d)に示すように、突起側に遮光膜63を堆積する。短冊状の溝部分にも遮光膜63が堆積する。そして、図44の(e)に示すように、突起先端部分の遮光膜63をFIBあるいは化学機械研磨などの方法で除去する。先の溝部分の遮光膜は除去されないで残るので、短冊状に遮光膜63が残る。以下のプロセスは図36の(f)と同じである。こ

のような近接場プローブを使って出射開口での近接場光を走査する方法は図1、図5～図8に示した方法で可能である。

【0085】図45は本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。図45の(a)は近接場光プローブ・スライダを上面から見た図、同図の(b)は断面図、同図の(c)は近接場光プローブ・スライダの底面図、同図の(d)は近接場光プローブ・スライダの側面図を、各々示す。構造は図43と同様であるが、突起部と薄いシリコン基板を支えるガラス基板2706を設けている。これらをこれによりスライダ・プローブの剛性が向上する。

【0086】図46は図45に示す近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。図38と同様である。ただし、図46の(g)に示すように、突起形状樹脂61を形成する際に、後に短冊状の遮光膜63を形成する場所の樹脂膜厚を少々薄くする。これはこの場所だけ露光量を減らして、フォトマスクを介して露光することにより実現できる。そして、図46の(h)に示すように、これをマスクにし、先の対物レンズを作製したときと同様に、突起62を高屈折率材料で形成(樹脂パターンの転写)する。このときの高屈折率材料としてはシリコンとなる。シリコンの屈折率 n は、波長 $\lambda=780\text{nm}$ において屈折率 $n=3.7$ と非常に高い。また、5 μm 程度の厚みだと40%程度の透過率を示す。短冊状に樹脂膜厚を薄くしたところの高屈折率材料には、溝ができる。更に、図46の(i)に示すように、突起側に遮光膜63を堆積する。短冊状の溝部分にも遮光膜63が堆積する。最後に、図46の(j)に示すように、突起先端部分の遮光膜63をFIBあるいは化学機械研磨などの方法で除去する。先の溝部分の遮光膜63は除去されないで残るので、短冊状に遮光膜63が残る。このような近接場プローブを使って出射開口での近接場光を走査する方法は図1、図5～図8に示した方法で可能である。

【0087】図47は本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。図47の(a)は近接場光プローブ・スライダを上面から見た図、同図の(b)は断面図、同図の(c)は近接場光プローブ・スライダの底面図、同図の(d)は近接場光プローブ・スライダの側面図を、各々示す。構造は図43のものと同様であるが、突起部の底面側にはマイクロレンズ2707が形成されている。

【0088】図48は図47の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。図40と同様であるが、図48の(b)に示すように、突起形状樹脂61を形成する際に、後に短冊状の遮光膜63を形成する場所の樹脂膜厚を少々薄くする。これはこの場所だけ露光量を減らして、フォトマスクを介して露光することにより実現できる。そして、図48の

(c)に示すように、これをマスクにし、先の対物レンズを作製したときと同様に、突起62を高屈折率材料に形成(樹脂パターンの転写)する。このときの高屈折率材料としてはシリコンとなる。シリコンの屈折率 n は、波長 $\lambda=780\text{ nm}$ において屈折率 $n=3.7$ と非常に高い。また、 $5\text{ }\mu\text{m}$ 程度の厚みだと40%程度の透過率を示す。短冊状に樹脂膜厚を薄くしたところの高屈折率材料には、溝ができる。次に、図48の(d)に示すように、突起側に遮光膜63を堆積する。短冊状の溝部分にも遮光膜63が堆積する。そして、図48の(e)に示すように、突起先端部分の遮光膜63をFIBあるいは化学機械研磨などの方法で除去する。先の溝部分の遮光膜63は除去されないで残るので、短冊状に遮光膜63が残る。以下のプロセスは図40と同じである。このような近接場プローブを使って出射開口での近接場光を走査する方法は図1、図5～図8に示した方法で可能である。

【0089】図47に示す構成を有する近接場光プローブ・スライダでは、レンズをプローブに近づけて配置できるのでNAを高くすることができる。よって、光利用効率の向上と記録密度の向上が図れる。また、マイクロレンズとしては必ずしも、球面レンズである必要はなく、非球面レンズや、楕円形レンズでも良い。このマイクロレンズ形状のフォトリソパターンを形成する方法としては、ここで挙げたリフローの方式の他に、図34のようないわゆる中間調マスクパターンのフォトマスクを使っても良い。突起部先端での出射光スポットを小さくする方法としては、モード間干渉を使う方法とマイクロレンズの高いNAを利用する方法のどちらを使っても良い。

【0090】図49は本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。図49の(a)は近接場光プローブ・スライダを上から見た図、同図の(b)は断面図、同図の(c)は近接場光プローブ・スライダの底面図、同図の(d)は近接場光プローブ・スライダの側面図を、各々示す。構造は図47のものと同様であるが、突起部と薄いシリコン基板を支えるガラス基板2706を設けている。これらをこれによりスライダ・プローブの剛性が向上する。

【0091】図50は図49の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。図42とほとんど同じであるが、図50の(g)に示すように、突起形状樹脂61を形成する際に、後に短冊状の遮光膜63を形成する場所の樹脂膜厚を少々薄くする。これはこの場所だけ露光量を減らして、フォトマスクを介して露光することにより実現できる。そして、図50の(h)に示すように、これをマスクにし、先の対物レンズを作製したときと同様に、突起62を高屈折率材料で形成(樹脂パターンの転写)する。このときの高屈折率材料としてはシリコンとなる。シリコンの屈折率 n は、波

長 $\lambda=780\text{ nm}$ において屈折率 $n=3.7$ と非常に高い。また、 $5\text{ }\mu\text{m}$ 程度の厚みだと40%程度の透過率を示す。短冊状に樹脂膜厚を薄くしたところの高屈折率材料には、溝ができる。次に、図50の(i)に示すように、突起側に遮光膜63を堆積する。短冊状の溝部分にも遮光膜63が堆積する。最後に、図50の(j)に示すように、突起先端部分の遮光膜63をFIBあるいは化学機械研磨などの方法で除去する。先の溝部分の遮光膜63は除去されないで残るので、短冊状に遮光膜63が残る。

【0092】図49に示す構成を有する近接場光プローブ・スライダでは、レンズをプローブに近づけて配置できるのでNAを高くすることができる。よって、光利用効率の向上と記録密度の向上が図れる。また、マイクロレンズとしては必ずしも、球面レンズである必要はなく、非球面レンズや、楕円形レンズでも良い。このマイクロレンズ形状のフォトリソパターンを形成する方法としては、ここで挙げたリフローの方式の他に、図34のようないわゆる中間調マスクパターンのフォトマスクを使っても良い。突起部先端での出射光スポットを小さくする方法としては、モード間干渉を使う方法とマイクロレンズの高いNAを利用する方法のどちらを使っても良い。

【0093】ここまで述べてきた例では凸型のレンズを用いて説明してきたが、特にこれに限定されるものではなく、マイクロレンズとしては図14～図18の種々のマイクロレンズを用いることができる。特にワーキングディスタンスを短くして、NAを高くするためには図16のマイクロレンズを用いると良い。また、マイクロレンズとしては必ずしも、球面レンズである必要はなく、非球面レンズや、楕円形レンズ、シリンドリカルレンズでも良い。

【0094】図51は本発明に係る光プローブ搭載の光ピックアップ装置の構成を示す概略図である。基本的な構成は図8と同じであるが、EOモデュレータ81のより具体的構成が示されている。なお、図51の近接場光プローブ・スライダ3501には、図28の構成のものを使っているが、特にこれに限定されるものではない。EOモデュレータ81には記録メディアから近接場光プローブ・スライダ3501を介してPD18に入射する光をPD18にて電気信号に変換して、これをフィードバック回路3502に入力する。これと交流電圧からEOモデュレータ81を制御する信号を出力する。トラッキングエラー検出のためにビームをウォブリグするには、この交流電圧を、必要な振れ幅に対応する振幅を持つ交流電圧とする。これによりトラッキングエラーを検出し、この値から交流電圧のバイアス値を制御することにより、出射光振れ幅の中心位置とトラック中心位置を一致させるようにEOモデュレータ81を制御することができる。

【0095】本実施例の構成の使用方法としては、高速記録・再生を目的とするものがある。ビームを振らせることにより複数トラックに記録或いは再生を行い、実質的記録再生速度を向上させることができる。本実施例では出射光の走査を行うシステムを提供できる。また、シリンドリカルレンズの集光レンズを設置することが困難な場合は、図5のように対物レンズ51をプローブ・スライダ外に置いて良い。EOモジュレータ81としてはTi:LiNbO₃、LiTaO₃、LiNbO₃ (LN)、MgO等を用いることができる。

【0096】図52はEOモジュレータの具体的構成を示す図である。同図において、電気光学結晶の形状は立方体で、光の透過する方向(x方向)に長く、電極が形成されている面に垂直な方向(z方向)に薄いことが好ましい。電極のy方向の長さ(幅)はx方向に関して変化するように形成されている。最も単純な形は直角三角形又は図5.2のように台形である。電気光学結晶は電界

$$B_{11}x^2 + B_{22}y^2 + B_{33}z^2 + 2B_{23}yz + 2B_{31}zx + 2B_{12}xy = 1 \quad \dots\dots\dots (式1)$$

$$\text{ただし、} \begin{bmatrix} B_{11} - \frac{1}{n_x^2} \\ B_{22} - \frac{1}{n_y^2} \\ B_{33} - \frac{1}{n_z^2} \\ B_{23} \\ B_{31} \\ B_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} \\ r_{61} & r_{62} & r_{63} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (式2)$$

【0099】本発明の実施例で使用するLN (LiNbO₃) 結晶の場合、電気光学定数テンソルの各成分の値は

$$\begin{cases} r_{11} = 30.8 \times 10^{-12} [\text{m/V}] \\ r_{13} = r_{23} = 8.6 \times 10^{-12} [\text{m/V}] \\ r_{22} = -r_{12} = -r_{16} = 3.4 \times 10^{-12} [\text{m/V}] \\ r_{42} = r_{51} = 28 \times 10^{-12} [\text{m/V}] \end{cases} \quad \dots\dots\dots (式3)$$

【0101】となる。

【0102】図53で、LN結晶の光学軸(z軸)に電界を印加し、光がx方向へ伝搬した場合を考える。ただし、光学軸とは、結晶中を伝搬する伝搬光が偏光に依存無く、常に常光線となる方向を光学軸という。式(2、

$$\left(\frac{1}{n_x^2} + r_{12} E_z \right) y^2 + \left(\frac{1}{n_z^2} + r_{33} E_z \right) z^2 = 1 \quad \dots\dots\dots (式4)$$

【0104】電界を印加したことによる屈折率変化は少ないので、

を印加することで屈折率が変化する。ここでは特に、電界に比例して屈折率が変化するポッケルス効果を利用する。図52では電極が形成されている部分のみに電界が印加されるので、電圧源により、この部分の屈折率が他の部分のそれよりも増加又は減少する。これによりスネルの式から結晶を透過する光は結晶内で屈折して、結晶を出射した光は偏向する。出射した光を先に述べた近接場光プローブに照射すれば、その先端の近接場光は走査されることとなる。

10 【0097】このように、動作を効率よく、つまり電源の電圧、消費電力がより低くて済む構成により、光を走査できる動作を説明する。一般に、ポッケルス効果における結晶の屈折率の状態を表す屈折率楕円体の式は電気光学定数テンソルと印加電界ベクトルを用いて次のように表せる。

【0098】

【数1】

【0100】

【数2】

40 1~3) より (ここで n_o 、 n_e は $E=0$ のときの n_y 、 n_z を表している)、

【0103】

【数3】

【0105】

【数4】

$$|r_D n_o^2 E_z^*| \ll 1, |r_D n_e^2 E_z^*| \ll 1 \quad \dots\dots\dots (式5)$$

【0106】この近似により、

【数5】

【0107】

$$\frac{y^2}{n_o^2 \left(1 - n_o^2 r_D \frac{E_z^*}{2}\right)} + \frac{z^2}{n_e^2 \left(1 - n_e^2 r_D \frac{E_z^*}{2}\right)} = 1 \quad \dots\dots\dots (式6)$$

【0108】従って、z偏光とy偏光で屈折率は

【0109】

【数6】

$$\begin{cases} n_y = n_o - n_o^2 r_D \frac{E_z^*}{2} \\ n_z = n_e - n_e^2 r_D \frac{E_z^*}{2} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (式7)$$

【0110】のように変化することが分かる。

【0111】ここで、図54のように屈折率分布をもつ領域を作り、ビーム径Dの光を伝搬させるときのことを考える。図54に示すように上から見たとき、このビームの上端を通る光（以下ビームAと称す）とビームの下端を通る光（以下ビームBと称す）に注目すると、それぞれのビームが結晶を通り抜けるのにかかる時間は次のように表せる。

【0112】

【数7】

$$T_A = \frac{l}{c_0} n_i \quad \dots\dots\dots (式8)$$

$$T_B = \frac{l}{c_0} (n_i - \Delta n_i) \quad \dots\dots\dots (式9)$$

【0113】従って、ちょうどビームAが結晶端にたどり着いたとき、ビームBは ΔZ だけ結晶を飛び出している。

【0114】

【数8】

$$\Delta z = (T_A - T_B) c_0 = l \Delta n_i \quad \dots\dots\dots (式10)$$

【0115】このことから、光は位相をそろえるため角

$$N = \begin{cases} \frac{\pi n_o^2 r_D E_z^*}{4\lambda} & \dots\dots\dots y\text{偏光の場合} \\ \frac{\pi n_e^2 r_D E_z^*}{4\lambda} & \dots\dots\dots z\text{偏光の場合} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (式14)$$

【0125】と表せる。

【0126】LN結晶の場合、 $r_{33} > r_{13}$ 、 $n_o \approx n_e$ であるため、偏向の効果が大い光学軸に平行な、すなわちz軸方向の偏光（z偏光）の光を入射させる。図で表すと、図56のようになる。トラッキング信号検出

度a偏向することになる。

【0116】

【数9】

$$\theta \approx \tan \theta = \frac{l}{D} \Delta n_i \quad \dots\dots\dots (式11)$$

【0117】更に、このビームがガウシアンビームのウェイトに置かれていたとした場合、無限遠での回折広がり半頂角は

【0118】

【数10】

$$\theta_{\text{beam}} = \frac{\lambda}{\pi \frac{D}{2}} \quad \dots\dots\dots (式12)$$

【0119】となる。ここから、集光したときに1スポット半径のN個分スポットを動かすことができる量（分解点数Nと呼ぶ）は

【0120】

【数11】

$$N = \frac{\theta}{\theta_{\text{beam}}} = \frac{\pi \Delta n_i}{2\lambda} \quad \dots\dots\dots (式13)$$

【0121】で表される。

【0122】以上のことから、LN結晶に図55の斜線で示すような形の電極を作製することで偏向器となることが分かる。

【0123】更に、(式7)と(式13)を用いてLN結晶に入射した光の分解点数Nは

【0124】

【数12】

を可能とするためには記録されているマークの中心からビームをその半径程度移動させる必要がある。すなわち、偏向素子に求める分解点数は1以上が必要となる。これを目標にLN結晶に図57のような電極を作製した。(式14)より、このような大きさをもつ偏向器で

は光学軸に平行な偏光に対して分解点数Nは
【0127】

$$N = \frac{\pi n_o^2 r_{33} E_z}{4\lambda} = 1.28 \times 10^{-3} V, \dots\dots\dots (式15)$$

【0128】となり、160V程度で分解点数N=1が実現できる。ここで、波長は830nm、屈折率 $n_o = 2.2$ とした。

【0129】図57のように、LN結晶の光学軸に平行に電界を印加しかつ光学軸方向に平行な直線偏光の光 ($E_{//}$) をx軸方向に入射した場合の出射ビームの移動量(偏向量)を図58の(b)に、垂直な光 (E_{\perp}) のそれを図58の(a)に示す。両者を比較すれば明らかに、前者の場合の方が、移動量が大きいことが解る。すなわち、より低い電圧でビームを振ることができる。

【0130】図59は電気光学偏向器の一例を示す図である。図中の電極に電圧源より電圧を印加すると電気光学結晶に電界が発生する。斜線で示した部分とそれ以外の部分は、同じ電界がかかった場合に生じる屈折率の変化が異なるようになっている。それぞれは楔形をしていて、交互にスタックされている。ここで、図60のように光が入射すると、斜線の部分とそれ以外の部分の境界で屈折率差による屈折が生じる。この現象が、光が境界を通るたびに生じるので、結晶から出る光は偏向される。この偏向の度合いは結晶に印加する電圧により制御できるので、結晶を出た光を先に述べた近接場光プローブに照射すれば、その先端の近接場光は走査されることとなる。

【0131】本実施例では、上記動作を効率よく、つまり電源の電圧、消費電力がより低くて済む構成とした。結晶の光学軸の方向、入射する光の偏光方向、印加する電界の方向などは図52に示すものと同じである。ただし、図59の斜線部分とそれ以外の部分の光学軸方向が反対になる構成とする。この構成で光を走査できる原理はドメイン反転型の電気光学結晶と同じであるが、図52で述べた理由により、効率がよい。

【0132】図60は本発明の光ピックアップ装置の装置全体構成を示す概略斜視図である。同図において、記録媒体の上には近接場光を発生する近接場光プローブ・スライダ4401があり、記録媒体が回転することにより空気流により記録媒体表面から数十nm浮上する。或いは、接触状態でスライドする。近接場光プローブ・スライダ4401はサスペンション4402を介してアーム4403に接続されている。アーム4403上には集光素子4404、偏向器4405、光学系4406が搭載されている。偏向器4405は、具体的には先に述べたAOモデュレータ或いはEOモデュレータ等であるが、これらに限定されるものではない。光学系4406は図51で示したようなLD、PD、ビームスプリッタ

【数13】

(BS)、コリメートレンズなどで構成されたもので、近接場光の光源や、記録媒体からの反射光を検出する機能を有する。このような機能があればよいので、構成は特にここで示したものに限定されるものではない。集光素子4404については以下で説明する。アームモータ4407によりアーム4403は移動させられる。これにより、記録媒体上の所望のトラック上に近接場光プローブ・スライダ4401が移動する。それとともに、先に述べたアーム4403上に搭載されているものは近接場光スライダ・プローブと一体になって移動する。したがって、自動的に光学系4406から発した光は近接場光プローブに照射されるので、両者をアライメントするアクチュエータや制御系は必要ない。また、細長い形状である偏向器4405をアーム4403上に寝かせて搭載することができるので、装置を薄型にコンパクトに構成することができる。

【0133】図61はプローブ・スライダ、アーム、光学系、偏向器、集光素子の構成の第1の例を示す図である。偏向器4405は例えばEOモデュレータであり、LN結晶などの材料でできている。EOモデュレータと同じ材料で一体になった反射型対物レンズ4501がスライダ4409の直上に配置されている。スライダ4409はサスペンション4402を介してアーム4403に接続されている。この対物レンズ4501と近接場光スライダ・プローブ4401の間のアーム部分には穴4502が空いているか、透光性の素材(ガラスなど)がはめ込まれている。偏向器4405により偏向された光は反射型対物レンズ4501により近接場光プローブ4408に集光される。これにより、トラッキング或いは高速記録・再生のための光走査を行うことができる。

【0134】図62は第2の例を示す図である。ここでは反射型対物レンズではなく、傾斜面に反射膜を付けたプリズムミラーになっている。このプリズムミラーはEOモデュレータと同じ材料で一体になっている。その底面には偏向器、及びプリズムミラーを構成する材料よりも高い屈折率を持つ材料により構成される対物レンズ4603が設けられている。スライダ4409はサスペンション4402を介してアーム4403に接続されている。この対物レンズ4601と近接場光スライダ・プローブ4401の間のアーム部分には穴4502が空いているか、透光性の素材(ガラスなど)がはめ込まれている。偏向器により偏向された光は対物レンズ4603により近接場光プローブ4408に集光される。これにより、トラッキング或いは高速記録・再生のための光走査を行うことができる

【0135】図63は第3の例を示す図である。偏向器は例えばEOモデュレータであり、LN結晶などの材料でできている。EOモデュレータとは別個の反射型対物レンズ4501がスライダ4409の直上に配置されている。両者間は直接接合されるか透光性の接着剤などで結合されていることが望ましいが特にこれが必須というわけではない。スライダ4501はサスペンション4402を介してアーム4403に接続されている。この反射型対物レンズ4501と近接場光スライダ・プローブ4401の間のアーム部分には穴4502が空いているか、透光性の素材（ガラスなど）がはめ込まれている。偏向器4405により偏向された光は反射型対物レンズ4501により近接場光プローブ4408に集光される。これにより、トラッキング或いは高速記録・再生のための光走査を行うことができる。

【0136】図64は第4の例を示す図である。ここでは反射型対物レンズではなく、傾斜面に反射膜を付けたプリズムミラー4801になっている。このプリズムミラー4801は、EOモデュレータとは別個のもので、スライダ4409の直上に配置されている。両者間は直接接合されるか透光性の接着剤などで結合されていることが望ましいが特にこれが必須というわけではない。その底面には偏向器4405、及びプリズムミラー4801を構成する材料よりも高い屈折率を持つ材料により構成される対物レンズ4603が設けられている。スライダ4409はサスペンション4402を介してアーム4403に接続されている。この対物レンズ4601と近接場光スライダ・プローブ4401の間のアーム部分には穴4502が空いているか、透光性の素材（ガラスなど）がはめ込まれている。偏向器4405により偏向された光は対物レンズ4601により近接場光プローブ4408に集光される。これにより、トラッキング或いは高速記録・再生のための光走査を行うことができる。

【0137】図65は第5の例を示す図である。図60と構成はほぼ同じであるが、対物レンズ4601がプリズムミラーの底面ではなく、スライダ4409上に設けられている。このようにすると、平行光のままスライダ4409上の対物レンズ4601に光を照射できるので、光と近接場光プローブ4408間のアライメントに必要とされる精度が緩和される。集光と近接場光プローブ4408のアライメントは対物レンズ4601と近接場光プローブ4408間の位置関係で決まり、作製時に高精度に決定すれば使用時は、両者間の位置関係は変わらないからである。トラッキング或いは高速記録・再生のための光走査を行うことができる。

【0138】図66は第6の例を示す図である。図65と構成とはほぼ同じであるが、プリズムミラー4801は、EOモデュレータとは別個のものである。両者間は直接接合されるか透光性の接着剤などで結合されていることが望ましいが特にこれが必須というわけではない。

トラッキング或いは高速記録・再生のための光走査を行うことができる。

【0139】図67は第7の例を示す図である。図65及び図66で示したようにスライダ4409上に対物レンズ4601を搭載している。アーム4403上のレンズを反射型対物レンズ4501、スライダ4409上のレンズを対物レンズ4601としている。対物レンズ4601が一つの場合よりも二つの対物レンズ全体のNAを高くすることができるので、集光スポット径を小さくでき、近接場光プローブ・スライダ底面に照射される光の面積が少なくなる。これにより、光利用効率が高くなる。

【0140】図68は第8の例を示す図である。反射型対物レンズ4501をEOモデュレータとは別個のものにしたこと以外図61の構成と同じである。同様に、光利用効率が高くなる。なお反射型対物レンズ或いはプリズムの反射膜は偏向器の電極とは電氣的に接続されていない方が好ましい。また、マイクロレンズとしては図14～18の種々のマイクロレンズを用いることができる。

【0141】図69は第9の例を示す図である。同図に示す例では、プリズムミラーとスライダ上の対物レンズ4601の間にもう一つの対物レンズ4602を設けている。

【0142】図70は近接場光プローブ・スライダの構成の他の一例を示す図である。ここでは透光性基板上に開口を有するシリコンを接合するのではなく、シリコン基板102のみに開口を設けている。基板の厚みや開口形成の精度が高くできる方法がある場合は、本近接場光プローブ・スライダでも何ら問題はない。また、図71のように、プローブ・スライダとしては、遮光膜と突起頂点の面が同一面になるようにしてもよい。メディアと対向させて使用する場合、頂点部に応力が集中せず破損しにくい。

【0143】なお、上記実施例において、陽極接合に用いるガラスとしては、米国コーニング社製#7740を一例として挙げたが、特にこれに限定されるわけではなく、米国コーニング社製#7070、或いは岩城硝子のSW-3等を用いることもできる。また、単結晶Si層とガラス基板を接合する方法として、上述した陽極接合を挙げたが、特にこれに限るわけではなく、常温の直接接合を用いても良い。常温接合は、鏡面研磨したシリコンウェファアやガラス基板、金属基板をいわゆるRCA洗浄した後、10-9 Torrの真空チャンバ内でArのFAB (Fast Atomic Beam) を2枚の基板にそれぞれに300 sec程度、同時に照射した後、10 MPaの圧力で圧着する。大気に戻した後の接合強度は12 MPa以上になる。また、透光性基板として、コーニング社の#7740を挙げたが、特にこれに限るものではなく、直接接合を用いる場合は石英基板や透光性の樹脂を用いることも

できる。特に、石英を用いた場合は、高温の直接接合により透光性基板とSi層を接合することができる。この方法は、基板表面を十分に洗浄して、ゴミや汚れを除去して乾燥させ、正常な雰囲気中で面同士を接触させる。この後900℃以上の熱処理を窒素中で行うことにより基板が接合される。また、低融点ガラス（フリットガラス）を用いたガラス接合によりSi層と透光性基板を接合することもできる。更に、接着材により開口を作製した層と透光性基板の接合を行うこともできる。この場合、ガラス基板を用い、ガラスと屈折率が等しくなるように製造された光学用接着剤（例えば駿河精機製V40-J91）を用いることができる。

【0144】この場合、接合後にガラス表面と開口の間でできる空間を、屈折率が空気より高い接着剤で充填するように接合することにより、微小開口に照射される光ビームスポットを、接着剤が充填されていない場合よりも小さくすることができる。これによりレーザ光源から発した光が近接場光となって記録媒体に到達する結合効率が高くなる効果が生じる。また、開口を形成する基板は特に単結晶Si基板を用いることはなく、数十nmから数百nmの開口寸法を実現できるのであれば化合物半導体やガラス基板（遮光膜は必須）、樹脂基板、金属基板であっても良い。上記の各請求項実施例において、いわゆる凹レンズ、又は凸レンズを用いているが、特にこれに限られるものではなく、回折格子型のレンズ、又はフレネルレンズでも良い。また、集光レンズとして、シリンドリカルレンズのみではなく、ボールレンズなどを用いても良い。

【0145】また、上記実施例において、突起部及びテーパ状開口を形成する材料として、主として透光性基板とは異なる材料とし、Siを用いた一例について説明したが、これに限られず、透光性基板と同じ材料で、或いは、透光性基板と一体に作製されていても問題ない。実施例で空孔であったテーパ状開口に、下記のプロープ材料を充填しても良い。更に、上記実施例において、突起部及びテーパ状開口を形成する材料として、主としてSiを用いた一例について説明したが、これに限られず、以下の材料も使用可能である。

【0146】以下プロープ材料を列記する。SiO₂、Ge、ガラス、結晶石英、C（ダイヤモンド）、アモルファスSi、マイクロクリスタル（微小結晶）Si、多結晶Si、SixNy（x、yは任意）、TiO₂、TeO₂、Al₂O₃、Y₂O₃、La₂O₃、S、LiGaO₂、BaTiO₃、ZnO、SrTiO₃、PbTiO₃、KNbO₃、K（Ta、Nb）O₃（KTN）、LiNbO₃、LiTaO₃、Pb（Mg_{1/3}Nb_{2/3}）O₃、（Pb、La）（Zr、Ti）O₂、（Pb、La）（Hf、Ti）O₃、PbGeO₃、Li₂GeO₃、MgAl₂O₄、CoFe₂O₄、（Sr、Ba）Nb₂O₆、La₂Ti₂O₇、Nd₂Ti₂O₇、Ba₂TiSi₂O₈、Pb₃Ge₃O₁₁、Bi₄Ge₃O₁₂、Bi₄Si₃O₁₂、Y₃Al₅O₁₂、Gd₃Fe₃O₁₂、（Gd、Bi）₃Fe₃O₁₂、Ba₂NaNbO₅、Bi₁₂GeO₂₀、Bi₁₂SiO₂₀、Ca₁₂Al₁₄O₃₃、LiF、NaF、KF、RbF、CsF、NaCl、KCl、RbCl、C

sCl、AgCl、TiCl、CuCl、LiBr、NaBr、KBr、CsBr、AgBr、TlBr、LiI、NaI、KI、CSi、Tl（Br、I）、Tl（Cl、Br）、MgF₂、CaF₂、SrF₂、BaF₂、PbF₂、Hg₂Cl₂、FeF₃、CsPbCl₃、BaMgF₄、BaZnF₄、Na₂SbF₆、LiClO₄・3H₂O、CdHg（SCN）₄、ZnS、ZnSe、ZnTe、CdS、CdSe、CdTe、α-HgS、PBS、PBSe、EuS、EuSe、GaSe、LiInS₂、AgGaS₂、AgGaSe₂、TiInS₂、TiInSe₂、TiGaSe₂、TiGaS₂、As₂S₃、As₂Se₃、Ag₃AsS₃、Ag₃SBS₃、CdGa₂S₄、CdCr₂S₄、TlTa₂S₄、Tl₃TaSe₄、Tl₃VS₄、Tl₃As₄、Tl₃PS₄、GaP、GaAs、Ga₁₀N、（Ga、Al）As、Ga（As、P）、（LNGa）P、（LNGa）As、（Ga、Al）Sb、Ga（AsSb）、（LNGa）（AsP）、（Ga₁₀）（AsSb）、ZnGeP₂、CaCO₃、NaN₃、a-HIO₃、a-LiIO₃、KIO₂F₂、FeBO₃、Fe₂BO₃、KB₃O₆・4H₂O、BeSO₄・2H₂O、CuSO₄・5H₂O、Li₂SO₄・H₂O、KH₂PO₄、KD₂PO₄、NH₄H₂PO₄、KH₂AsO₄、KD₂AsO₄、CSH₂AsO₄、CsD₂AsO₄、KTiOPO₄、RbTiOPO₄、（K、Rb）TiOPO₄、PbMoO₄、a-Gd₂（MoO₄）₃、a-Tb₂（MoO₄）₃、Pb₂MoO₆、Bi₂WO₆、K₂MoO₈・KCl、YVO₄、Ca₃（VO₄）₂、Pb₃（GeO₄）（VO₄）₂、CO（NH₂）₂・Li（COOH）・H₂O、Sr（COOH）₂、（NH₄CH₂COOH）₃・H₂SO₄、（ND₄COOD）₃・D₂SO₄、（NH₄CH₂COOH）₃・H₂BeF₂、（NH₄）₂C₂O₄・H₂O、C₆H₅N₃O₄、C₆H₅NO₃、C₆H₅（NO₂）、C₆H₅NO₂Br、C₆H₅NO₂Cl、C₆H₅NO₂NH₂、C₆H₅（NH₄）OH、C₆H₅（CO₂）₂HCS、C₆H₅（CO₂）₂HRb、C₆H₅NO₂CH₂NH₂、C₆H₅CH₂（NH₂）₂、C₆H₅·O₂・H₂OKH（C₆H₅O₄）、ClOH₁₁N₃O₆、[CH₂・CF₂]_n。

【0147】なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲内の記載であれば多種の変形や置換可能であることは言うまでもない。

【0148】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光プロープは、長方形の開口となされた光入射開口と、光入射開口から入射された光を集光して出射する長方形の光出射開口と、光入射開口と直交する面の断面が次第に小となるように形成されたガイド壁と、光入射開口側に接合した透光性基板とを有する。よって、開口が破損しにくく、高い精度と再現性で微小な開口を有する光プロープを提供できる。

【0149】また、入射された光を光出射開口上に集光する対物レンズを、透光性基板に形成することにより、非常に歩留まりが向上すると共に、高い光利用効率、軽量化、小型化が可能となる。

【0150】更に、別の発明の光プロープは、長方形の開口となされた光入射開口と、光入射開口から入射された光を集光して出射する長方形の光出射開口と、光入射開口と直交する面の断面が次第に小となるように形成されたガイド壁とを有する。よって、構造がより一層簡易なものとなる。

【0151】また、光出射開口には、複数の遮光材を長辺方向に略等間隔で複数個配設して複数の開口を形成してスリット状となされていることにより、軽量化及び小

型化が容易に実現でき、精度の高いトラッキング制御ができ高い光効率が実現できると共に、開口が破損しにくく、高い精度と再現性で微小な開口を作製することができる光プローブを提供できる。

【0152】更に、別の発明としての光プローブは、光透過性を有する基板と、基板上に形成されてなる突起部とを備え、突起部は外壁に単数又は複数のテーパ角度を有し、突起部の頂点部が細長形状である。よって、モード間干渉と開口径形状により、入射光の偏光方向と平行な方向についての小スポット化と、更なる高効率化を実現でき、高速なトラッキング動作を可能にする光プローブを提供できる。なお、突起部は光透過性材料又は高屈折率材料により構成されることが好ましく、ガラス-高屈折率材料の界面での反射による光利用効率の低下を防ぎ、更に光利用効率を向上することができる。

【0153】また、入射された光を突起部の頂点部に集光する対物レンズを、基板に形成したことにより、非常に歩留まりが向上すると共に、高い光利用効率、軽量化、小型化が可能となる。なお、対物レンズは光透過性材料又は高屈折率材料により構成されることが好ましい。

【0154】また、突起部の頂点部の開口には、複数の遮光材を長辺方向に略等間隔で複数個配設して複数の開口を形成してスリット状となされている。よって、軽量化及び小型化が容易に実現でき、精度の高いトラッキング制御ができ高い光効率が実現できると共に、開口が破損しにくく、高い精度と再現性で微小な開口を作製することができる光プローブを提供できる。

【0155】更に、入射された光の偏向を、光出射開口の短辺方向に、又は突起部の頂点部の短辺方向に、平行な直線偏光とするとともに、光入射開口から光出射開口までの入射された光が集光される部分の屈折率を、又は突起部分の屈折率を n とし、入射された光の真空中での波長を λ とし、光出射開口の短辺又は突起部の頂点部の短辺の長さを a とし、光出射開口の長辺又は突起部の頂点部の長辺の長さを b としたときに、 $a \geq \lambda / 2n$ かつ $b < \lambda / 2n$ の条件を満たすことが好ましい。

【0156】また、別の発明としての光ピックアップ装置は、長方形の開口となされた光入射開口と、光入射開口から入射された光を集光して出射する長方形の光出射開口と、光入射開口と直交する面の断面が次第に小となるように形成されたガイド壁と、光入射開口側に接合した透光性基板とを有する光プローブと、光出射開口の長辺方向に、入射された光を走査する光走査手段とを有する。よって、精度の高いトラッキング制御ができる光ピックアップ装置を提供できる。

【0157】更に、光走査手段によって走査された光を光出射開口上に集光する対物レンズを、透光性基板に形成したことにより、非常に歩留まりが向上すると共に、高い光利用効率、軽量化、小型化が可能となる。

【0158】また、別の発明としての光ピックアップ装置は、長方形の開口となされた光入射開口と、光入射開口から入射された光を集光して出射する長方形の光出射開口と、光入射開口と直交する面の断面が次第に小となるように形成されたガイド壁とを有する光プローブと、光出射開口の長辺方向に、入射された光を走査する光走査手段とを有する。よって、精度の高いトラッキング制御ができる光ピックアップ装置を提供できる。

【0159】更に、光出射開口には、複数の遮光材を長辺方向に略等間隔で複数個配設して複数の開口を形成してスリット状となされていることにより、軽量化及び小型化が容易に実現でき、精度の高いトラッキング制御ができ高い光効率が実現できる。

【0160】また、別の発明としての光ピックアップ装置は、光透過性を有する基板と、基板上に形成されてなる突起部とを備え、突起部は外壁に単数又は複数のテーパ角度を有し、突起部の頂点部が細長形状である光プローブと、基板からの光を入射するとともに、頂点部の長辺方向に入射された光を走査する光走査手段とを有し、突起部は、基板からの光を入射して、先端部分で近接場光、伝搬光、或いは近接場光及び伝搬光の両方を発生させる。よって、モード間干渉と開口径形状により、入射光の偏光方向と平行な方向についての小スポット化と、更なる高効率化を実現でき、高速なトラッキング動作を可能にする光ピックアップ装置を提供できる。

【0161】更に、光走査手段によって走査された光を突起部の頂点部に集光する対物レンズを基板に形成したことにより、非常に歩留まりが向上すると共に、高い光利用効率、軽量化、小型化が可能となる。

【0162】更に、突起部の前記頂点部の開口には、複数の遮光材を長辺方向に略等間隔で複数個配設して複数の開口を形成してスリット状となされていることにより、よって、軽量化及び小型化が容易に実現でき、精度の高いトラッキング制御ができ高い光効率が実現できる光ピックアップ装置を提供できる。

【0163】また、上記光走査手段として、振動鏡、回転多面鏡、音響光学偏向器又は電気光学偏向器を用いることが望ましい。

【0164】更に、上記電気光学偏向器が立方体の電気光学結晶で構成され、光が透過する方向と平行な電気光学結晶の面に電極が形成され、電極の幅が光が透過する方向に関して変化する形状に形成されていることにより、簡単な構造で記録再生速度を向上できる。

【0165】また、上記電気光学偏向器がドメイン反転型の電気光学結晶であることにより、簡単な構造で記録再生速度を向上できる。

【0166】更に、上記電気光学結晶としてLN (LiNbO₃) 結晶を用い、LN結晶の光学軸に平行にLN結晶に電界がかかるように電極と結晶の形状を定めるとともに、光を光学軸と平行な方向の直線偏光としたことによ

り、電気光学偏向器の動作を効率良く、つまり電源の電圧、消費電力をより一層低くすることができる。

【0167】また、別の発明としての光ピックアップ装置は、アーム先端に設けられた微小開口を有する光プローブと、光プローブを介して記録媒体に光を照射するための光源を持つ光学系と、光学系からの光を走査する偏向器と、偏向器によって走査された光を光プローブに集光する集光手段とを、アームに搭載した。よって、偏向器と光プローブをアライメントするアクチュエータや制御系を不要とし、装置全体の小型化や簡素化を図ることができる。

【0168】更に、別の発明としての光ピックアップ装置は、アーム先端に設けられた微小開口を有する光プローブと、光プローブを介して記録媒体に光を照射するための光源を持つ光学系と、光学系からの光を走査する偏向器とを、アームに搭載するとともに、偏向器によって走査された光を光プローブに集光する集光手段を光プローブ上に搭載した。よって、偏向器と光プローブをアライメントするアクチュエータや制御系を不要とし、装置全体の小型化や簡素化を図ることができる。

【0169】また、別の発明としての光ピックアップ装置は、アーム先端に設けられた微小開口を有する光プローブと、光プローブを介して記録媒体に光を照射するための光源を持つ光学系と、光学系からの光を走査する偏向器と、偏向器によって走査された光を集光する第1の集光手段と、をアームに搭載するとともに、第1の集光手段によって集光された光を光プローブに集光する第2の集光手段を光プローブ上に搭載した。よって、偏向器と光プローブをアライメントするアクチュエータや制御系を不要とし、装置全体の小型化や簡素化を図ると共に、更なる光利用効率の向上を図ることができる。

【0170】更に、入射された光の偏向を、光出射開口の短辺方向に、又は突起部の頂点部の短辺方向に、平行な直線偏光とするとともに、光入射開口から光出射開口までの入射された光が集光される部分の屈折率を、又は突起部分の屈折率を n とし、入射された光の真空中での波長を λ とし、光出射開口の短辺又は突起部の頂点部の短辺の長さを a とし、光出射開口の長辺又は突起部の頂点部の長辺の長さを b としたときに、 $a \geq \lambda / 2n$ かつ $b < \lambda / 2n$ の条件を満たすことが好ましい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例に係る光プローブ搭載の光ピックアップ装置の構成を示す概略図である。

【図2】本発明の近接場光プローブ・スライダの一例の構成を示す図である。

【図3】図2の近接場光プローブ・スライダを記録媒体上で使用する際の説明図である。

【図4】図2の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図5】本発明の第2の実施例に係る光プローブを有す

る近接場光プローブ・スライダ搭載の光ピックアップ装置の構成を示す概略図である。

【図6】本発明の第3の実施例に係る光プローブ搭載の光ピックアップ装置の構成を示す概略図である。

【図7】本発明の第4の実施例に係る光プローブ搭載の光ピックアップ装置の構成を示す概略図である。

【図8】本発明の第5の実施例に係る光プローブ搭載の光ピックアップ装置の構成を示す概略図である。

【図9】本発明の近接場光プローブ・スライダの構成の他の一例を示す図である。

【図10】図9の近接場光プローブ・スライダを記録媒体上で使用する際の説明図である。

【図11】図9の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図12】本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。

【図13】図12の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図14】マイクロレンズの一例を示す断面図である。

【図15】マイクロレンズの一例を示す断面図である。

【図16】マイクロレンズの一例を示す断面図である。

【図17】マイクロレンズの一例を示す断面図である。

【図18】マイクロレンズの一例を示す断面図である。

【図19】本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。

【図20】本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。

【図21】図20の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図22】本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。

【図23】図22の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図24】図22の近接場光プローブ・スライダを作製する別のプロセス例を示す工程図である。

【図25】本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。

【図26】図25の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図27】図25の近接場光プローブ・スライダを作製する別のプロセス例を示す工程図である。

【図28】本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。

【図29】図28の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図30】図28の近接場光プローブ・スライダを作製する別のプロセス例を示す工程図である。

【図31】本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。

【図32】図31の近接場光プローブ・スライダを作製

するプロセス例を示す工程図である。

【図 33】図 31 の近接場光プローブ・スライダを作製する別のプロセス例を示す工程図である。

【図 34】中間調マスクパターンのフォトマスクを使った例を示す図である。

【図 35】本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。

【図 36】図 35 の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図 37】本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。

【図 38】図 37 の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図 39】本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。

【図 40】図 39 の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図 41】本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。

【図 42】図 41 の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図 43】本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。

【図 44】図 43 の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図 45】本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。

【図 46】図 45 の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図 47】本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。

【図 48】図 47 の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図 49】本発明の近接場光プローブ・スライダの他の例の構成を示す図である。

【図 50】図 49 の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図 51】本発明に係る光プローブ搭載の光ピックアップ装置の構成を示す概略図である。

【図 52】EO モデュレータの具体的構成を示す図である。

【図 53】LN 結晶の光学軸 (z 軸) に電界を印加し、光が x 方向へ伝搬した場合の電気光学偏向器の構造を示す図である。

【図 54】EO モデュレータにおける屈折率分布領域を示す図である。

【図 55】z 軸方向の偏光 (z 偏光) の光を入射させる

場合の電気光学偏向器内の光の偏向の様子を示す図である。

【図 56】電極の具体例を示す図である。

【図 57】LN 結晶に電界を印加した際の光の偏向の様子を示す図である。

【図 58】光学軸方向に平行な直線偏向光を x 軸方向に入射した場合の出射ビームの移動量を示す図である。

【図 59】電気光学偏向器の一例を示す図である。

【図 60】本発明の光ピックアップ装置の装置全体構成を示す概略斜視図である。

【図 61】光ピックアップ装置の第 1 の例を示す概略図である。

【図 62】光ピックアップ装置の第 2 の例を示す概略図である。

【図 63】光ピックアップ装置の第 3 の例を示す概略図である。

【図 64】光ピックアップ装置の第 4 の例を示す概略図である。

【図 65】光ピックアップ装置の第 5 の例を示す概略図である。

【図 66】光ピックアップ装置の第 6 の例を示す概略図である。

【図 67】光ピックアップ装置の第 7 の例を示す概略図である。

【図 68】光ピックアップ装置の第 8 の例を示す概略図である。

【図 69】光ピックアップ装置の第 9 の例を示す概略図である。

【図 70】本発明の近接場光プローブ・スライダの構成の他の一例を示す図である。

【図 71】本発明の近接場光プローブ・スライダの構成の他の一例を示す図である。

【図 72】従来例 2 の構成を示す図である。

【図 73】従来例 2 の別の構成を示す図である。

【図 74】従来の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図 75】従来の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

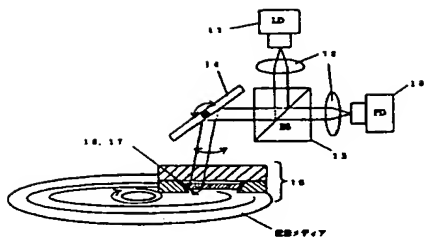
【図 76】従来の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

【図 77】従来の近接場光プローブ・スライダを作製するプロセス例を示す工程図である。

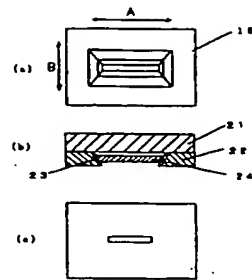
【符号の説明】

11 ; LD、12 ; コリメータレンズ、13 ; BS、14 ; ガルバノミラー、15 ; 近接場光プローブ・スライダ、16 ; 光入射開口、17 ; 光出射開口、18 ; PD。

【図1】



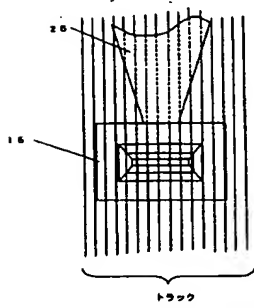
【図2】



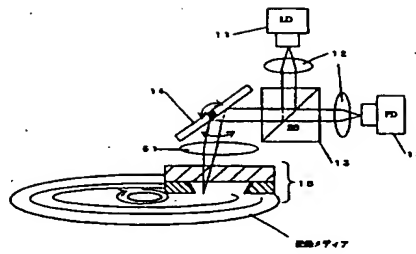
【図14】



【図3】



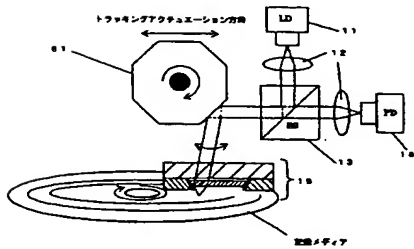
【図5】



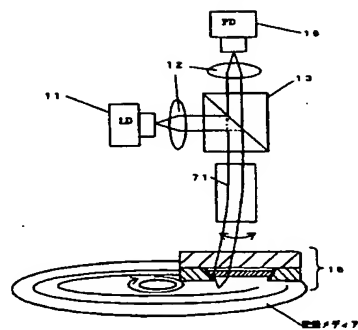
【図15】



【図6】



【図7】



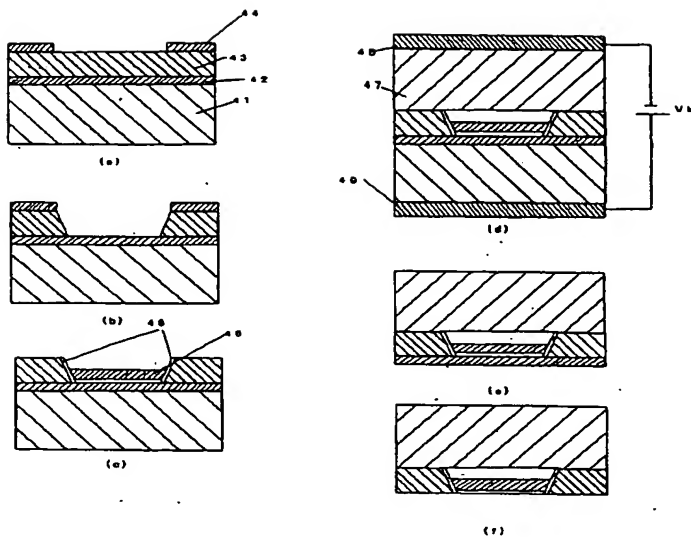
【図16】



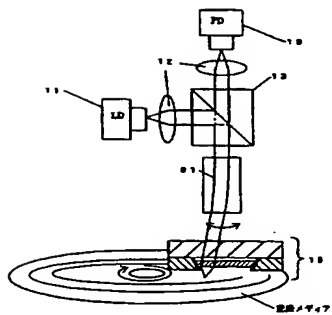
【図18】



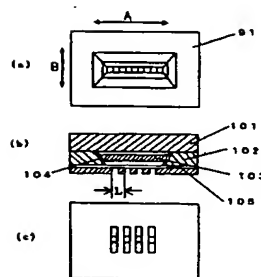
【図4】



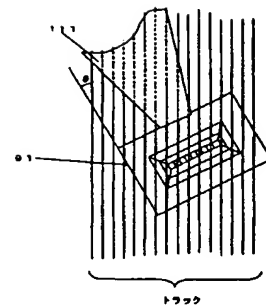
【図8】



【図9】



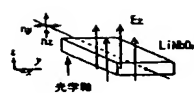
【図10】



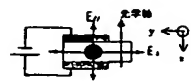
【図17】



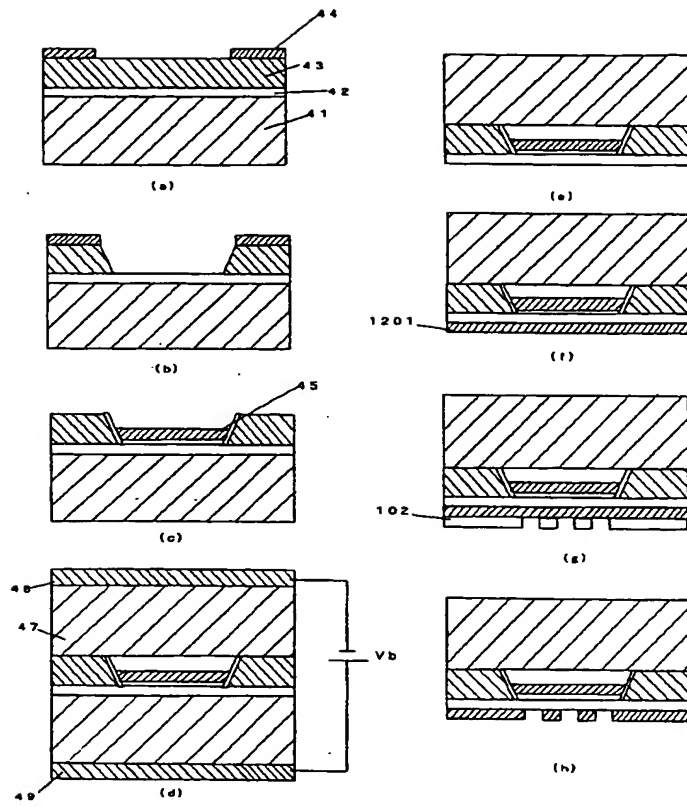
【図53】



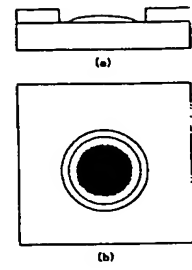
【図57】



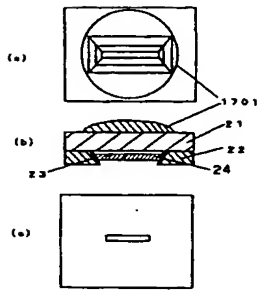
【図11】



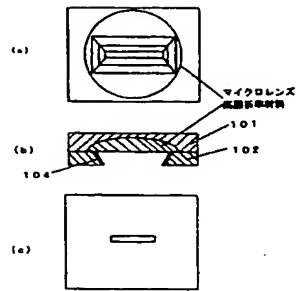
【図34】



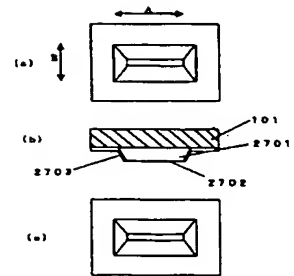
【図12】



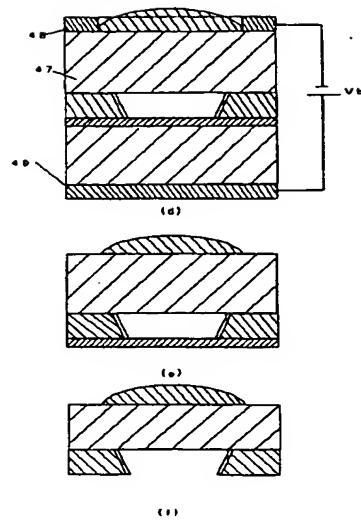
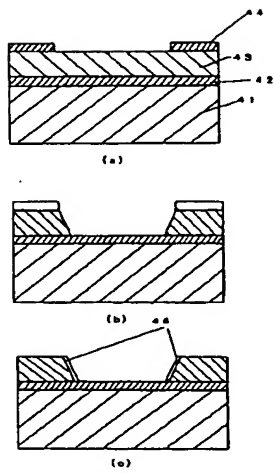
【図19】



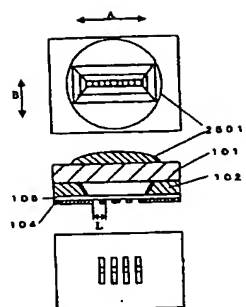
【図22】



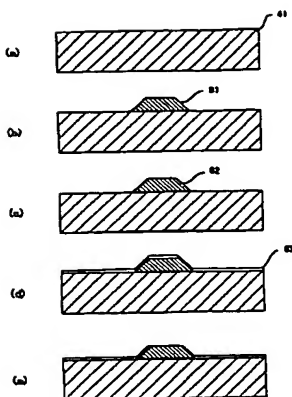
【図13】



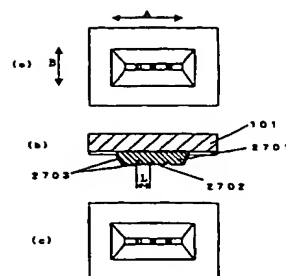
【図20】



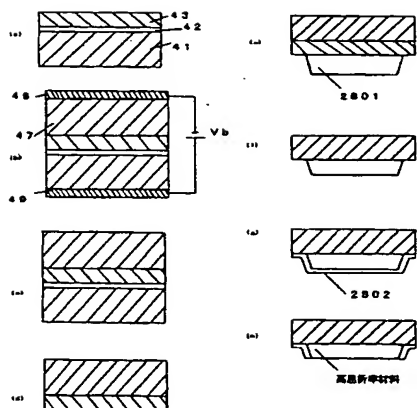
【図23】



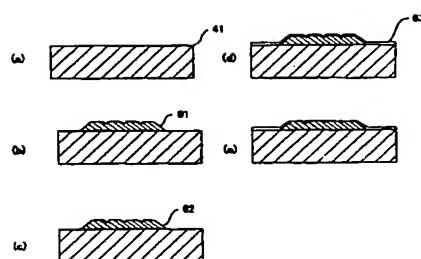
【図25】



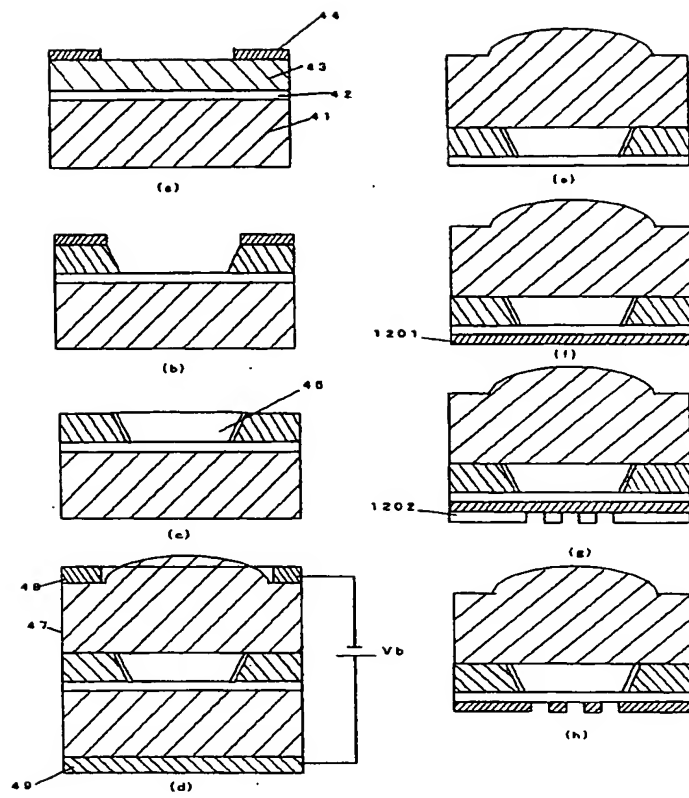
【図24】



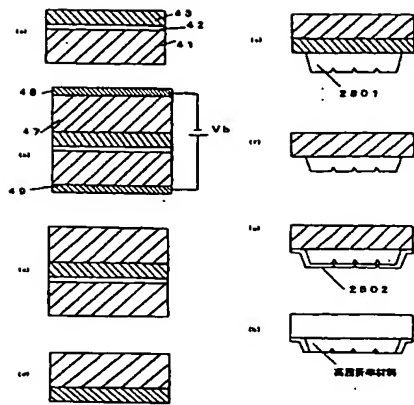
【図26】



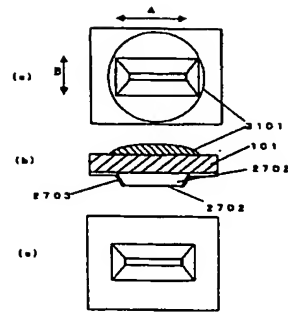
【図21】



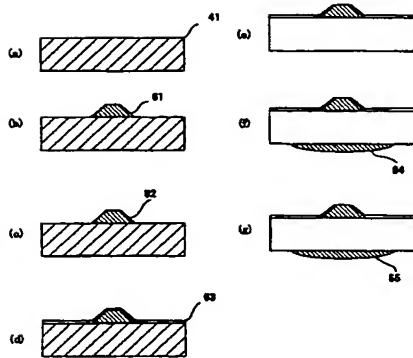
【図27】



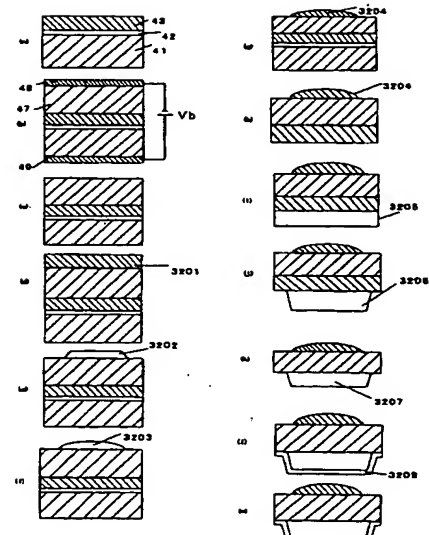
【図28】



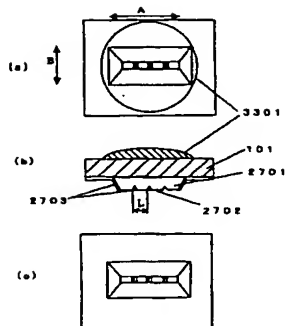
【図29】



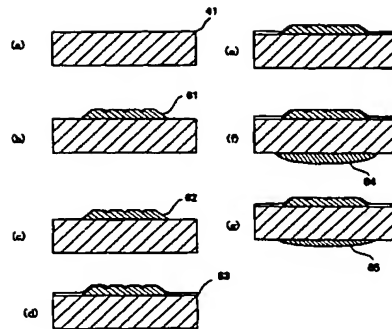
【図30】



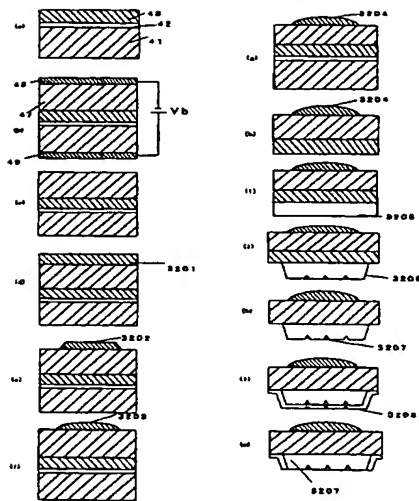
【図31】



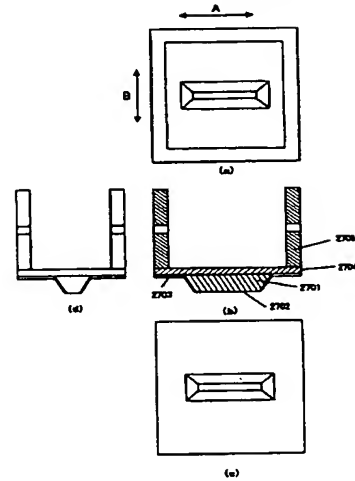
【図32】



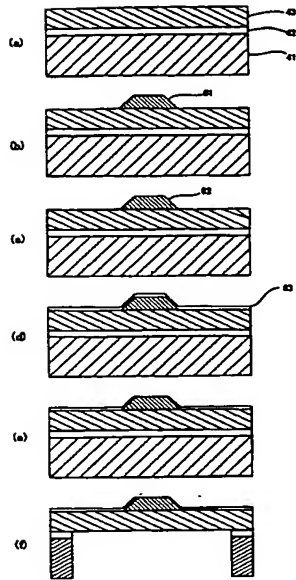
【図33】



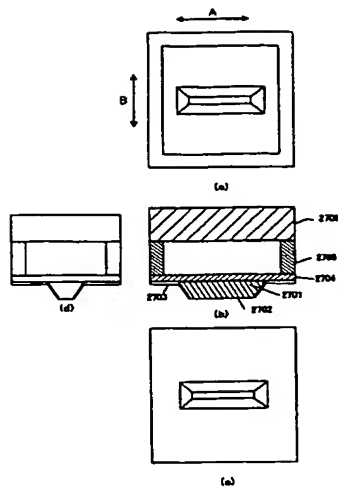
【図35】



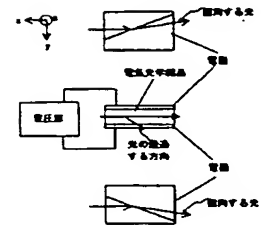
【図36】



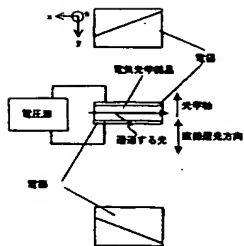
【図37】



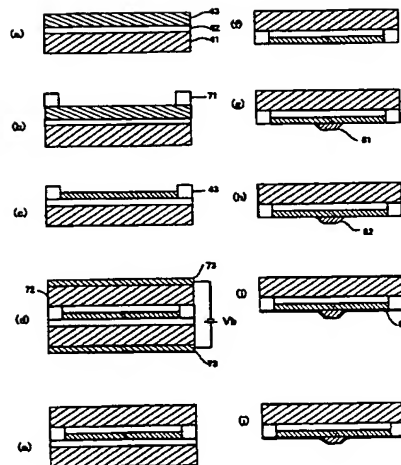
【図52】



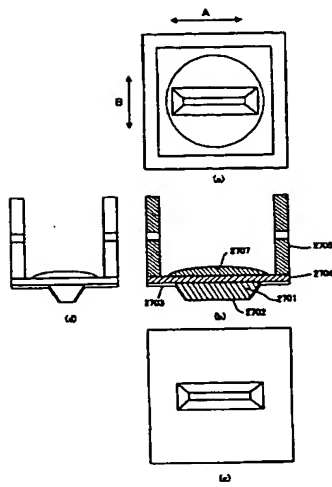
【図55】



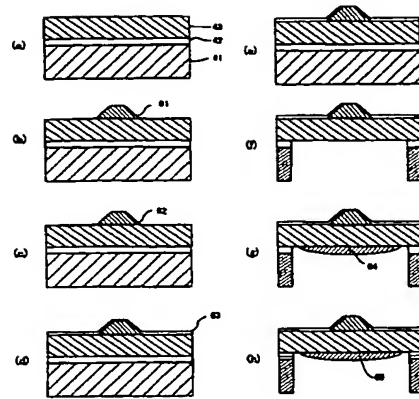
【図38】



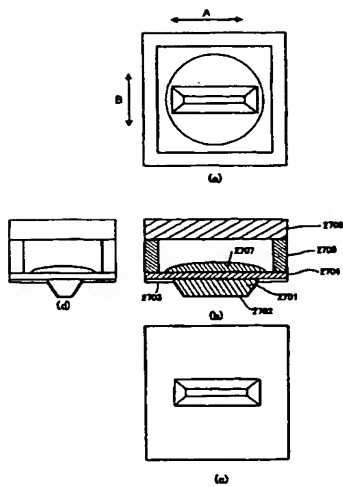
【図39】



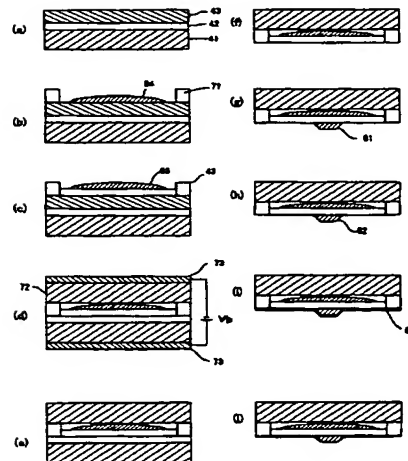
【図40】



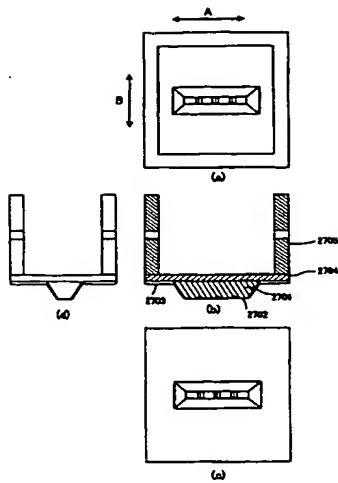
【図41】



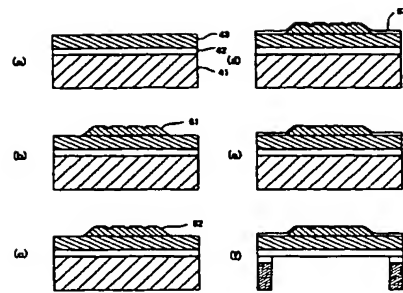
【図42】



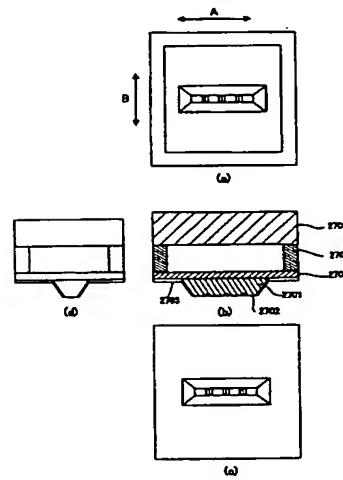
【図43】



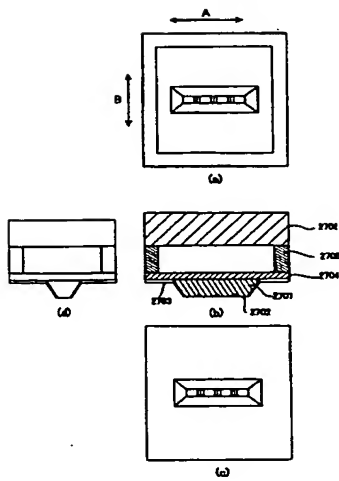
【図44】



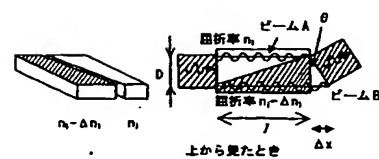
【図46】



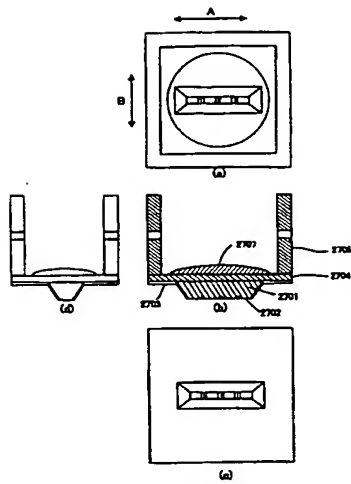
【図45】



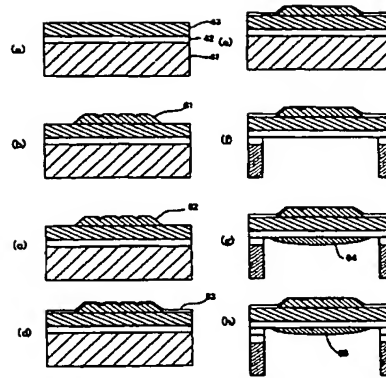
【図54】



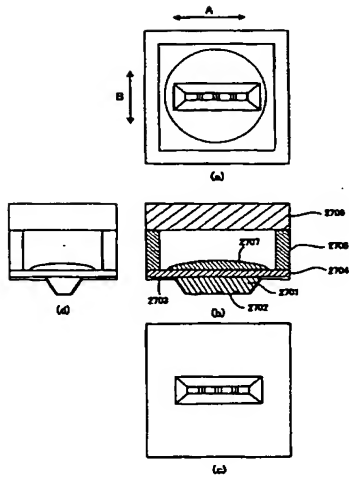
【図47】



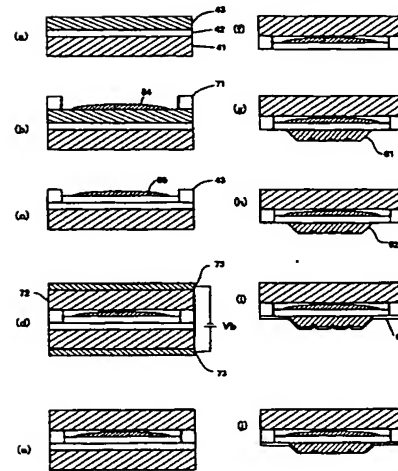
【図48】



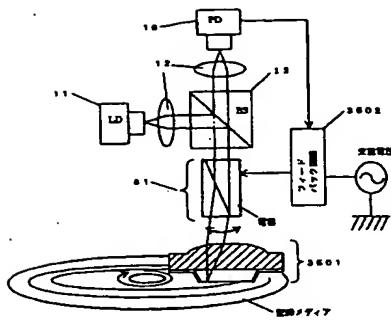
【図49】



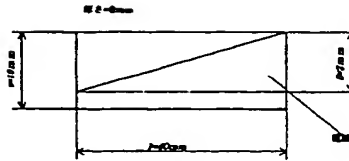
【図50】



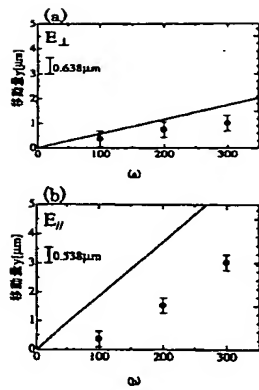
【図51】



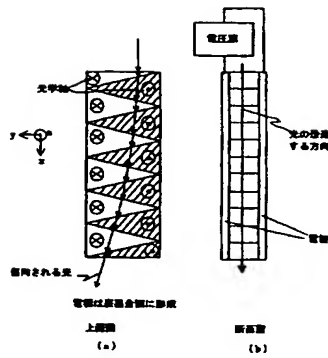
【図56】



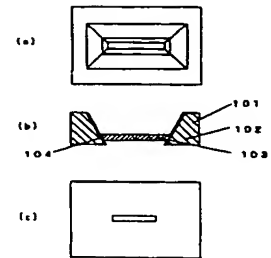
【図58】



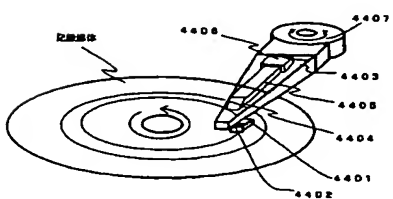
【図59】



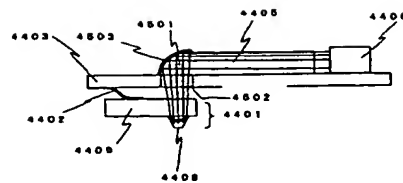
【図70】



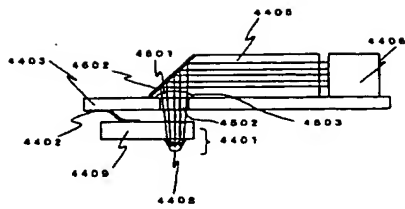
【図60】



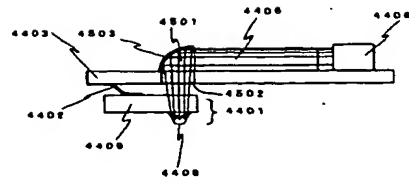
【図61】



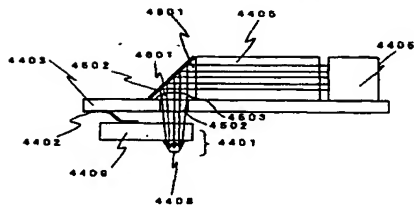
【図62】



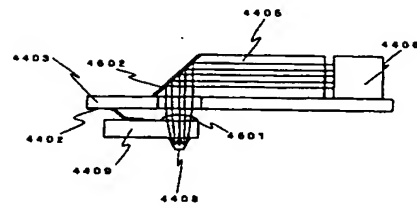
【図63】



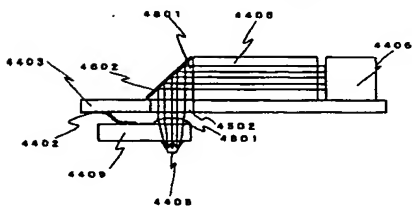
【図64】



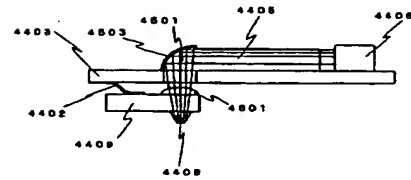
【図65】



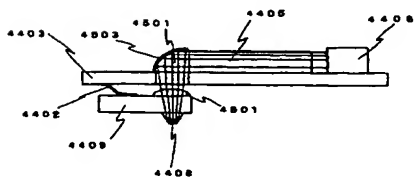
【図66】



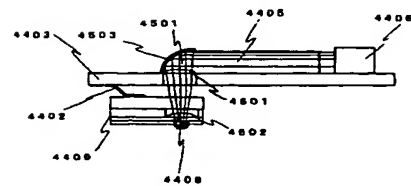
【図67】



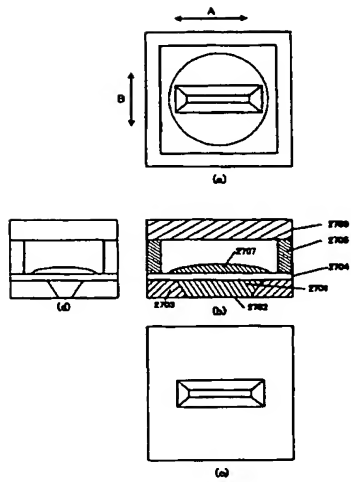
【図68】



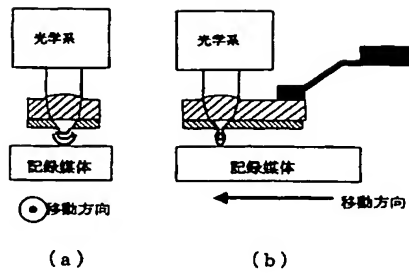
【図69】



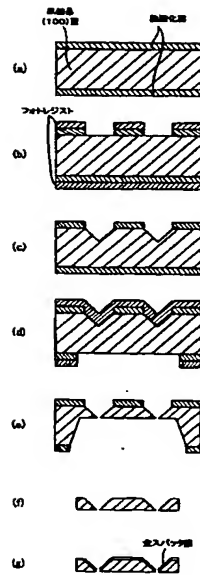
【図71】



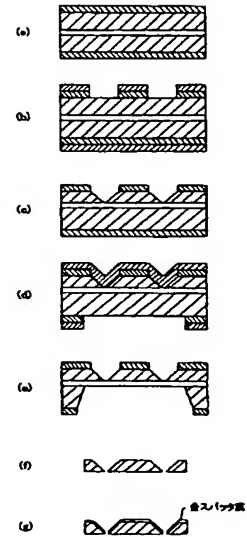
【図72】



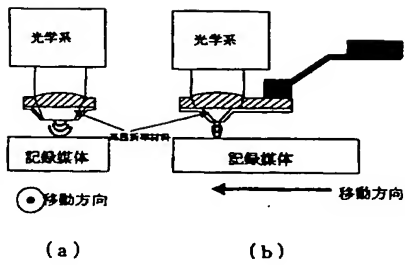
【図74】



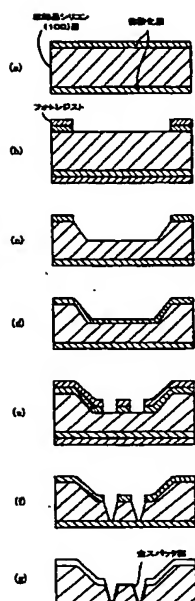
【図75】



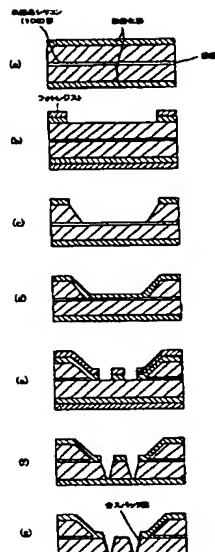
【図73】



【図76】



【図77】



フロントページの続き

(72)発明者 三船 博庸
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式
会社リコー内

(72)発明者 大津 元一
神奈川県川崎市高津区坂戸3丁目2番地1
号 財団法人神奈川科学技術アカデミー内

(72)発明者 興梠 元伸
神奈川県川崎市高津区坂戸3丁目2番地1
号 財団法人神奈川科学技術アカデミー内

(72)発明者 八井 崇
神奈川県川崎市宮前区野川3184-21

Fターム(参考) 5D118 AA01 AA13 BA01 CD03 DC07
DC13 DC16

5D119 AA01 AA11 AA22 AA38 AA43
EA02 EB02 JA34 JA52 JA54
JA55

5D789 AA01 AA11 AA22 AA38 AA43
CA21 CA22 CA23 EA02 EB02
JA34 JA52 JA54 JA55 JA66